

4680 大圆柱专题：极致设计、极致安全、极致制造

电力设备及新能源

推荐 维持评级

核心观点

- **4680 大圆柱的诞生背景？**后补贴时代，性价比为王，4680 大圆柱电池应运而生，通过电芯设计、电芯工厂、正负极材料以及整车电池一体化这五个方面，4680 电池整体成本可以下降 56%。预计未来大圆柱将替代部分软包和方形的市场份额。
- **4680 有哪些突出优势？**1) 能量密度高：4680 容量是 2170 电芯 5 倍，仅外形尺寸变化，能量密度可以上升 10%，换用硅碳负极，能量密度上升 20% 至 300wh/kg 以上；2) 安全可靠：圆柱电池周边隔热能力更强。4680 采取顶部水冷和侧面水冷相结合的方式。无极耳设计进一步提高散热性；3) 快充优势：4680 电池不仅从材料体系适配快充，同时改变结构提高充电倍率，比如采用全极耳设计。
- **哪些企业入局 4680？**特斯拉进展最快，目前已装车 Model Y，除自供外，松下、LG、宁德为其 4680 的潜在供应商。宝马计划 2024-2025 年开始大批量生产搭载 4680 的电动车。亿纬锂能在动力锂电池领域已布局三元圆柱，进军 4680 有技术储备，2021 年宣布与 StoreDot 联合开发 4680 和 4695 两大圆柱电池路线，预计 2024 年有望量产。此外，参与方还有戴姆勒、苹果、Lucid、Rivian、小鹏、蔚来、一汽、江淮、别克、蜂巢等，全球掀起 4680 热潮。
- **4680 市场空间有多大？**除 Model 3，特斯拉全部车型都计划采用或部分采用 4680，尤其是高性能版和长续航版以及 Cybertruck 和 Semi。预计 2025 年特斯拉 4680 车型销量有望达到 121 万辆，对应电池装机量约 178GWh，当年车辆渗透率接近 30%，2022-2025 年特斯拉 4680 装机量的复合增速高达 186%。叠加宝马等放量，保守预测 2025 年 4680 电池装机量将超过 200GWh。
- **4680 引领哪些新趋势？**1) 超高镍多元正极：NCMA 四元材料在提升镍含量的同时兼顾了降本和材料稳定性。国内高镍正极竞争格局较为集中，CR5 达到 86.4%，当升科技是其中的佼佼者；2) 硅碳硅氧负极：理论最高克容量可达 4200mAh/g，是石墨的 10 倍多，目前量产克容量已超过 400mAh/g。国内实现硅基负极量产及批量供货的企业有杉杉股份、贝特瑞；3) 单壁碳管导电剂：碳纳米管可以缓解硅负极膨胀问题，改善循环性能，减少电解液损耗，提升寿命性能。单壁碳纳米管性能更优。天奈科技正在积极研发相关产品；4) 制造工艺要求提升：独创干电池涂布、极片极耳切割一体化、激光焊接以及 CTC 结合一体化压铸方面，与传统圆柱相比，存在较为明显的差异化方案。
- **风险提示：**4680 大圆柱电池技术突破进展不达预期的风险；电池相关产能扩产不达预期的风险；采用 4680 电池的电动车销量不及预期的风险等。

重点公司盈利预测与估值

股票代码	股票名称	EPS			PE			投资评级
		2021A	2022E	2023E	2021A	2022E	2023E	
300014.SZ	亿纬锂能	1.53	1.76	3.31	62.1	54.0	28.7	推荐
300073.SZ	当升科技	2.15	3.21	4.53	36.1	24.2	17.1	推荐
835185.BJ	贝特瑞	2.97	3.17	4.56	19.7	18.5	12.9	推荐
688116.SH	天奈科技	1.27	2.41	4.69	95.4	50.3	25.8	推荐

资料来源：wind，中国银河证券研究院（股价选用 2022 年 9 月 8 日收盘价）

首席分析师

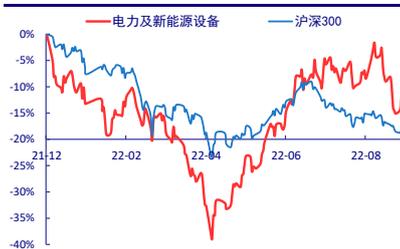
周然

☎：(8610) 8092 7636

✉：zhouan@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130514020001

电力设备及新能源指数表现



资料来源：wind，中国银河证券研究院

相关研究

- 1、【银河电新周然】电新行业_2022 年中期投资策略：政策暖风徐徐来，技术革新创未来_220630
- 2、【银河电新周然团队】电力设备及新能源行业_2022 年投资策略_“双碳”大周期开启，新能源独领风骚_211215

目 录

一、4680 冲击电芯格局	2
(一) 补贴退坡性价比为王，4680 降本增效	2
(二) 安全要求日益提高，4680 热管理升级	8
(三) 快充成未来趋势，4680 高倍率优势明显	12
(四) 大势所趋，特斯拉等头部企业争相入局	15
二、4680 引领技术变革	19
(一) 正极：超高镍多元	19
1、适配度高，加快布局	19
2、生产工艺升级	21
(二) 负极：硅基材料	24
1、硅基负极蓄势待发	24
2、硅碳硅氧各具优势	27
3、改性方法：纳米化、碳复合、预锂化	29
4、产业化布局提速	33
(三) 其他材料未来趋势	34
1、导电剂单壁碳管	34
2、新型锂盐 LIFSI	38
3、复合铜箔 PET	39
4、大尺寸钢制电池壳	43
三、4680 提升工艺要求	44
(一) 4680 电池结构及流程工艺	44
(二) 4680 生产工艺的差异化	45
1、独创干电极涂布	45
2、极片极耳切割一体化	47
3、激光焊接难度升级	48
4、CTC 结合一体化压铸	50
四、推荐标的	57
(一) 亿纬锂能	57
(二) 当升科技	58
(三) 贝特瑞	59
(四) 天奈科技	60
五、风险提示	61
六、附录	61

一、4680 冲击电芯格局

2020 年 9 月 22 日，马斯克在特斯拉电池日上发布了第三代 4680 电芯（前两位数字代表直径 46mm，后两位代表高度 80mm），相比 2170 直径增大两倍以上，容量是 2170 电芯的 5 倍，续航提升 16%，功率提高 6 倍。大圆柱的优势体现在高性价比、高安全性以及快充性能潜力等方面，预计未来将替代部分软包和方形的市场份额。

图 1：特斯拉 4680 锂电池

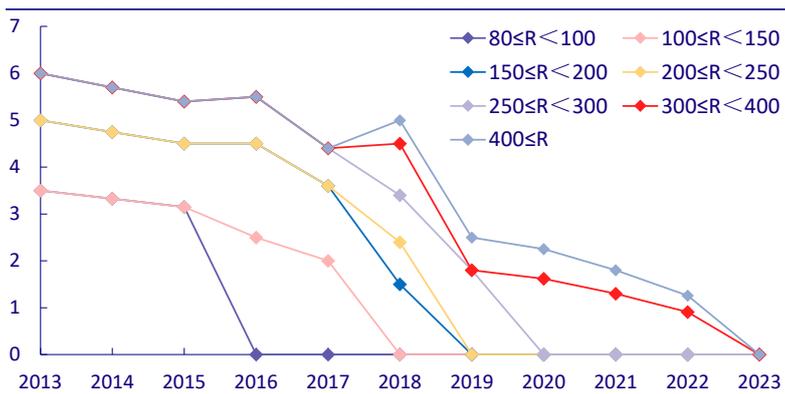


资料来源：特斯拉电池日，中国银河证券研究院

（一）补贴退坡性价比为王，4680 降本增效

2020 年-2022 年，我国新能源汽车的补贴标准较上一年分别退坡 10%/20%/30%。根据《关于 2022 年新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》，2022 年之后上牌的车辆或将不再享受补贴（在经济下行压力下，工信部等部门正在研究继续延续补贴至 2023 年的方案）。

图 2：近年新能源汽车补贴政策标准（万元）

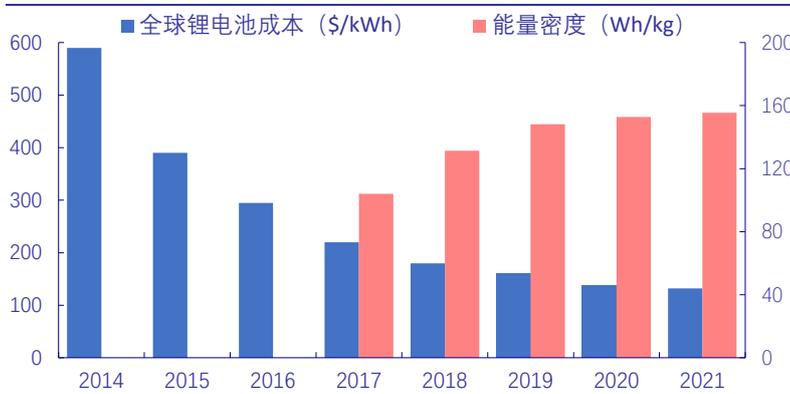


资料来源：中华人民共和国财政部，中国银河证券研究院

动力电池成本占电动车成本约 40%，动力电池降本对电动车降本贡献最大。后补贴时代，动力电池降本压力增大。锂离子电池成本持续下降。根据 BloomerNEF 数据，锂离子电池组价格从 2014 年到 2021 年下降了 77.6%，从 2017 年到 2021 年下降了 40%，加权平均值达到 132\$/kWh。降本通过多方面入手，电池材料体系优化、电池工艺优化、电池封装方式、系统集成方式的改变，提高能量密度的同时降低制造成本。电池成本下降主要来源于能量密

度的提升，根据工信部披露第一批纯电动乘用车数据统计，从 2017 年到 2021 年提高了 49%，相当于成本下降 33%。

图 3：锂离子电池组的能量密度及成本



资料来源：BloombergNEF，中国银河证券研究院

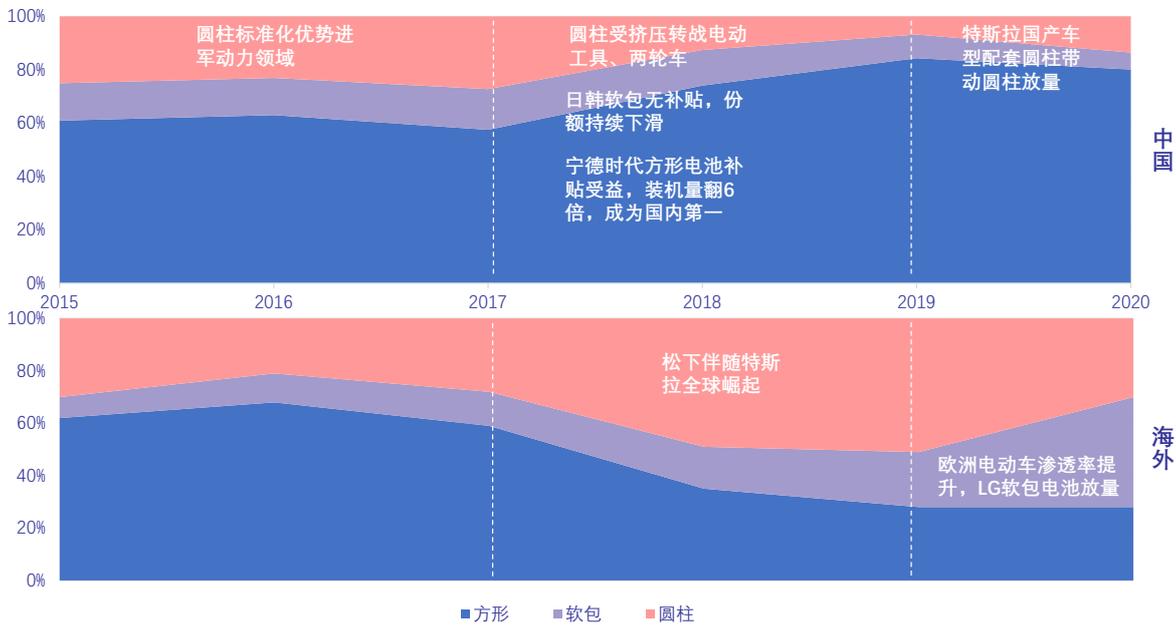
白名单补贴政策助推方形占比提升。2015 年 3 月，国家工信部发布了《汽车动力蓄电池行业规范条件》，进入推广目录的车企才能获得补贴，国内企业深度受益。2017 年宁德时代增长 6 倍成为国内电池装机量第一，带动方形电池出货量占比增加。LG、SKI 等韩国软包龙头企业排除在白名单之外，导致其主推的软包路线在国内份额持续下滑。海外市场，2020 年欧洲电动车渗透率提升，带动 LG 软包电池海外放量。

表 1：不同封装方式电芯性对比

		圆柱	方形	软包
性能	能量密度	中	中	高
	安全性	一般。电池热失控时容易爆炸，目前可实现单向爆破，不会影响周围电芯	差。电池热失控容易引起爆炸。卷绕工艺生产内部容易出现温度不一、应力不均的情况，造成安全隐患	好。铝塑膜包装，电池热失控电池胀气冲破铝塑膜释放气体及热量，减小热失控危害
生产工艺	包装材质	钢壳、铝壳	铝壳	铝塑膜
	制造工艺	卷绕	卷绕、叠片	叠片
	生产效率	高	一般	一般
	标准化程度	高，生产工艺成熟	低	低
成本	原材料价格	钢壳及盖帽完全国产化生产，价格稳定	铝壳及盖帽完全国产化生产，价格稳定	铝塑膜国产化，价格呈下降趋势
	设备成本	圆柱生产较为简单、成熟，设备成本相对较低	软包方形基本一致	
	人工成本	由于圆柱电池生产设备效率高，人工成本较软包方形低	软包方形基本一致	
优缺点	优点	生产工艺成熟、一致性高	对电芯保护作用强，成组效率高	能量密度高、安全性能好
	缺点	成组效率低，能量密度相对较低	安全性差，一致性差型号多	成本高，一致性差、制造工艺要求高
代表企业		松下、亿纬	SDI、宁德、比亚迪	LG、AESC

资料来源：孚能科技招股书，《硅碳复合负极材料的制备及全电池工艺研究》王淑婷，中国银河证券研究院

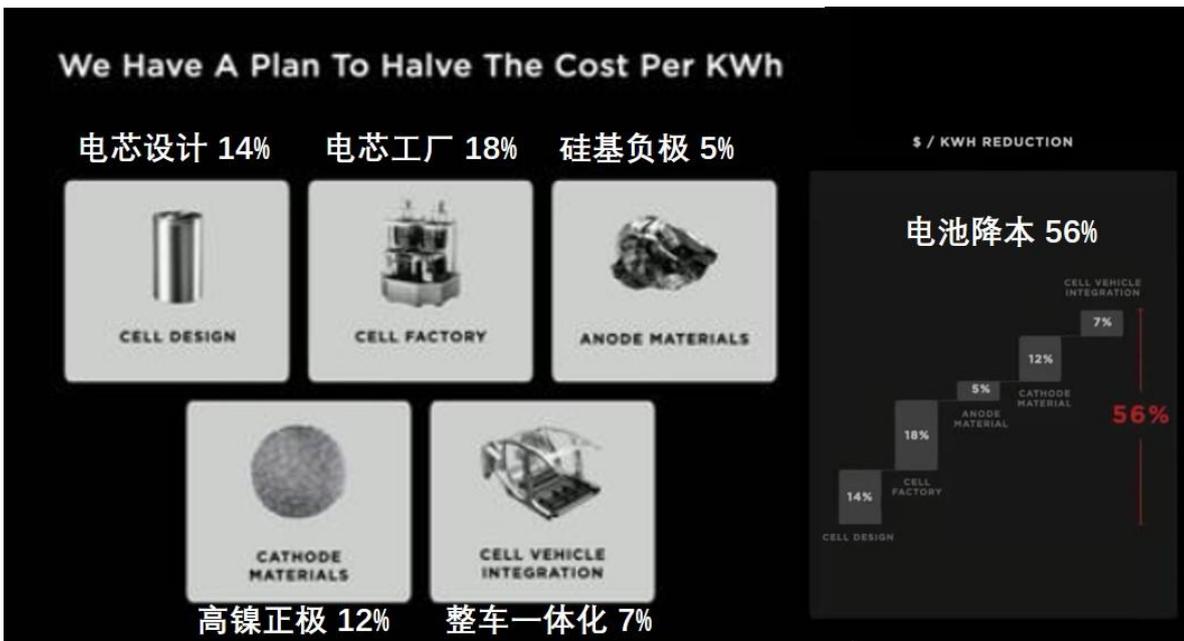
图 4：不同封装类型的电池占比变化



资料来源：GGII，中国银河证券研究院

圆柱电池早期凭借其型号统一、标准化生产在动力市场站稳脚跟。2017 年，由于性价比不占优势，圆柱电池转战电动工具、电动两轮车领域。2020 年，国产特斯拉 model 3 等车型销量带动 LG 以及松下圆柱电池在国内动力电池出货量提升，圆柱重返动力市场。2017 年松下伴随特斯拉全球崛起，海外圆柱份额快速上升。

图 5：特斯拉 4680 降本方案



资料来源：特斯拉电池日，中国银河证券研究院

特斯拉致力于从电芯设计、电芯工厂、正负极材料以及整车电池一体化五个方面来实现

电池的降本增效。特斯拉预计这套综合方案可将电池整体成本下降 56%。按照 48 万元/吨碳酸锂价格推算，以当前配套工业化水平，4680 大圆柱系统综合成本已经降至 0.90 元/wh 以下（2170 圆柱约 0.95 元/wh），但与方形电池仍存在差距。未来随着材料工艺持续升级、生产节拍提速，4680 成本将有望与方形电池持平或更低，进而扭转圆柱颓势。

1、电芯设计

仅外形尺寸变化，4680 每千瓦时的成本较 2170 降低 14%。单个电芯电量随体积增大提升至 5.48 倍，外壳用料增加不到 3 倍。更少的电芯数量降低了组装时间，提升了成组效率，进一步带来成本优势。仅外形尺寸变化，能量密度可以上升 10%；换用硅碳负极，能量密度上升 20%至 300wh/kg 以上。

图 6：1865/2170/4680 电池实物图



资料来源：特斯拉官网，中国银河证券研究院

表 2：2170/4680 电池性能对比

材料体系	2170 石墨+高镍	4680 石墨+高镍	4680 硅碳+高镍
单个电芯性能			
容量/Ah	5	27.5	30
电压/V	3.6	3.6	3.6
能量/wh	18	99 (+450%)	108 (+500%)
重量/g	70	350 (+400%)	350 (+400%)
体积/L	0.024	0.133 (+448.4%)	0.133 (+448.4%)
能量重量密度 /wh/kg	257	283 (+10.0%)	309 (+20.0%)
能量体积密度/wh/L	743	745 (+0.3%)	813 (+9.4%)
电芯成组性能			
成组类型	4 个模组	无模组	无模组
电芯数量	4416	960	960
电芯面积/mm ²	1.53	1.59	1.59
模组面积/mm ²	2.71	2.57 (-5.0%)	2.57 (-5.0%)
电芯占比	56%	62% (+9.7%)	62% (+9.7%)
电芯总容量/kwh	82	95 (+15.9%)	104 (+26.4%)
系统质量/kg	474	438 (-7.6%)	438 (-7.6%)
系统能量密度 /wh/kg	173	217 (+25.4%)	237 (+36.8%)

资料来源：汽车电子设计，中国银河证券研究院（2170 为对照组，2170-松下）

2、电芯工厂

随着制造流程简化、生产线效率提高、工艺提升，成本将减少 18%。特斯拉设计从电极涂覆、卷绕、装配、化成等各个环节下手，提高生产效率。整体而言，大圆柱电池可以实现连续不间断生产；制造工序少于软包和方形铝壳（大圆柱约 10 道工序）；生产在线时间短（大圆柱约 7 天左右，方形和软包分别约 10 天和 12 天），提高了周转率，降低了库存率。

图 7：工厂层面从电极涂覆、卷绕、装配、化成提高效率

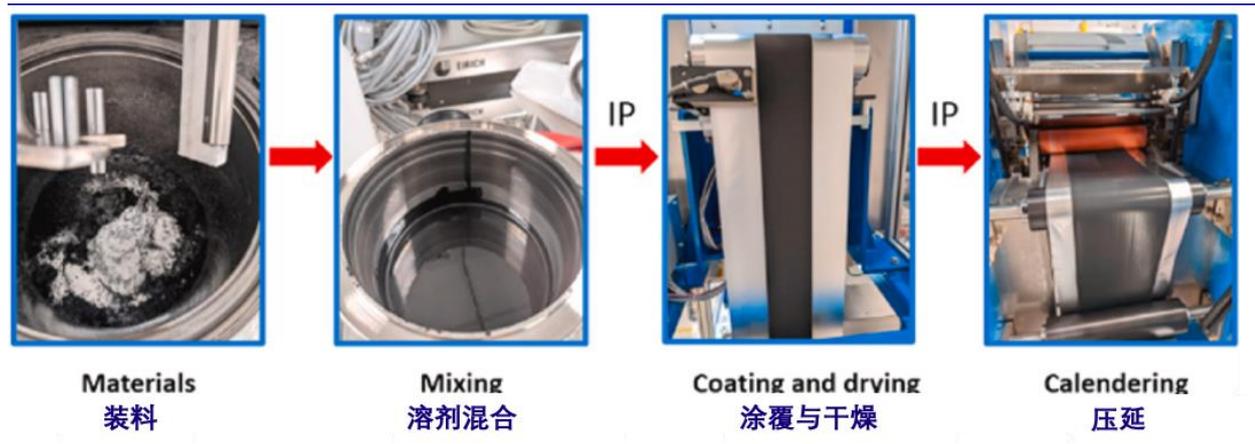


资料来源：特斯拉电池日，中国银河证券研究院

2.1 涂覆工艺

干电极技术生产设备占地面积减少 10 倍，能耗减少 10 倍，成本降低 10%-20%。湿法工艺需要先混合粉末和溶剂，涂覆到箔材上，然后放入干燥炉进行干燥，并回收溶剂。而干法工艺则省去了溶剂环节，但均匀度、粘结度更难控制（该技术尚在研发阶段）。

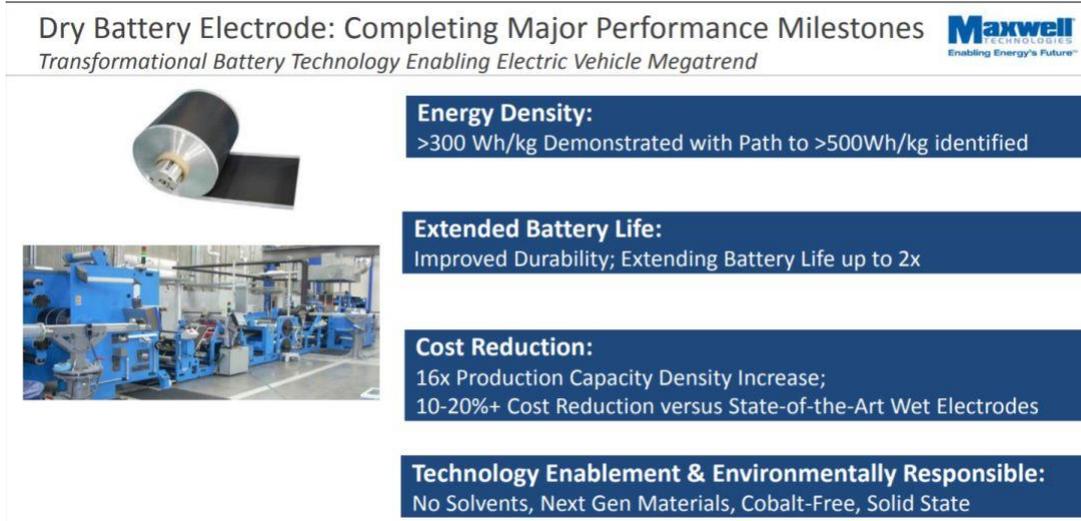
图 8：湿法涂覆工艺



资料来源：L.A.Román-Ramírez, 《Understanding the effect of coating-drying operating variables on electrode physical and electrochemical properties of lithium-ion batteries》，中国银河证券研究院

Maxwell 的干电极工艺采用 PTFE（聚四氟乙烯）粘结剂与电极粉末混合，通过挤出机形成电极薄膜，随后利用压延机热压成型，省去溶剂、简化工序（涂布、烘干等），目前已进行四次优化工艺，但仍在实验阶段。

图 9: Maxwell 干电极工艺



资料来源: Maxwell, 中国银河证券研究院

干电池电极具备以下四个优点: 1) **能量密度高**: 大于 300Wh/kg, 并存在 500Wh/kg 的实现路径; 2) **延长电池寿命**: 改善电池耐久性, 电池寿命翻倍; 3) **节省成本**: 产能密度增加 16 倍, 与湿电极技术相比, 成本降低 10%-20%; 4) **与行业趋势** (无溶剂, 无钴化, 下一代材料, 固态电池) 的高匹配度&保护环境。

2.2 卷绕

由于有极耳, 电池生产就需要不停地启动和停止。而 4680 为全极耳, **卷绕工艺可以实现连续高速不间断生产**, 达到 300ppm 的高速制造, 而方形铝壳一般仅为 10-20ppm。

2.3 装配

通过连续流水装配提高效率。特斯拉设计一条产线产能为 20GWh, 每条线的产量增加七倍。特斯拉与 Grohmann 和 Hibar 机器设计团队垂直整合, 将装配环节集成到一台机器上, 删减了中间不必要的运输步骤。

2.4 化成

通过提高化成效率, 化成投资成本减少 86%, 占地面积减少 75%。化成指对电池充放电并检测电池的质量, 典型化成对单节电池充放电, 而特斯拉同时对上千节电池充放电, 显著提升化成设备的成本效益和密度。

3、硅基负极

负极材料采用硅基材料, 每千瓦时 1.2 美元, 成本降低 5%, 里程提高 20%。石墨负极潜力挖掘完全, 已接近理论容量 372mAh/g。硅基负极理论最高克容量可达 4200mAh/g, 是石墨的 10 倍多, 具有大幅提高克容量潜力, 目前量产克容量已超过 400mAh/g。

由于硅本身的特性, 在充满锂离子时体积会膨胀四倍, 压力会导致硅粒子绝缘, 最终损失电池容量。目前工业使用的硅多是经过高度加工的, 例如氧化硅、碳化硅等, 并且较为昂贵。特斯拉使用原始硅作为负极材料, 不对硅本身进行加工, 而是从涂层设计和电极设计入

手，使用弹性离子导电聚合物涂层稳定表面，并通过高弹性粘合剂形成的坚固网络将硅材料集成到电极上。

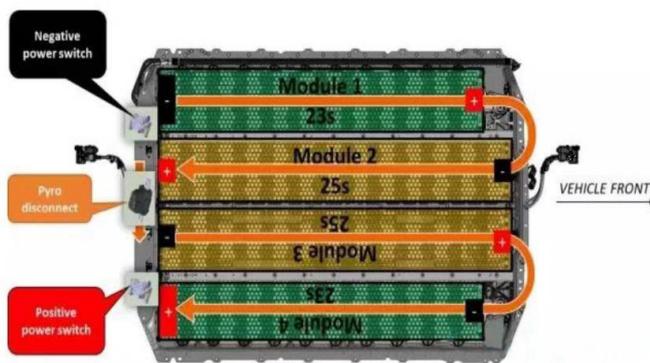
4、高镍正极

镍可兼顾价格与能量密度，正极材料采用高镍三元，进一步优化生产环节后，成本降低12%。

5、整车一体化

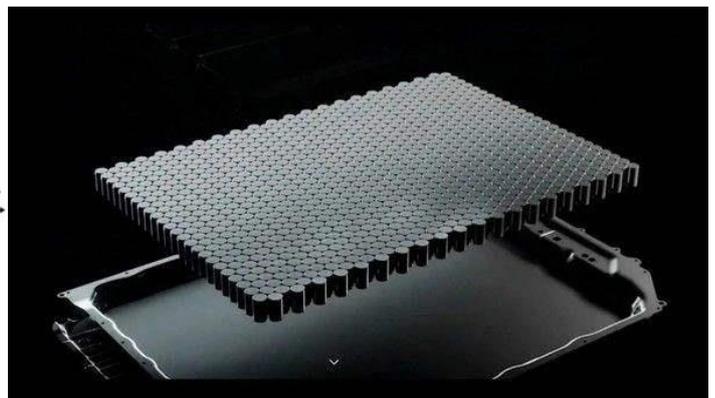
Model 3 的长续航版电池包由 4 个模块串联组成，大模块（黄色）包含 25 个串联电池块，小模块（绿色）包含 23 个串联电池块，每个电池块由 46 个 2170 电芯并联构成，共计 4416 个电芯。**4680 采用 CTC 技术，无模组装配，配合一体化压铸技术，可以节省 370 个零部件，为车身减重 10%，将电池单位成本降低 7%。**4680 电芯面积模组占比提高，电芯总容量提高 15.9%，续航能力提升 16%，系统能量密度提升 25%。

图 10: Model 3 中 2170 的四模组装配



资料来源: electrek, 中国银河证券研究院

图 11: 特斯拉 CTC 无模组装配



资料来源: 特斯拉官网, 中国银河证券研究院

(二) 安全要求日益提高，4680 热管理升级

2021 年，我国新能源汽车保有量已达 784 万辆，占我国汽车总保有量的 2.6%。市场监管总局已建立新能源汽车事故报告制度。截止 2021 年底，累计召回新能源汽车 229 次，涉及 198 万辆，安全问题成为新能源汽车的达摩克利斯之剑。

目前动力电池采用量较多的小容量电池进行串并联成组，以满足高能量的要求。近年发生的动力电池事故，均是由于电池组中的某一个电池单体热失控后产生大量热，导致周围电池单体受热，进而产生热失控蔓延。所以，**导致电池组热失控的三个核心因素：单体释放能量、周边电芯隔热能力、单位散热能力。**

表 3: 影响不同封装电池组热失控的核心因素对比

封装类型	方形	软包	圆柱 2170	圆柱 4680
单体尺寸 mm	250*66*112	508*84*14.7	R21*70	R46*80
单体能量	单体容量 Ah	280	4.8	24
	单体能量 kwh	1.0440	0.4380	0.01776

周边电芯隔热能力	周边电芯接触面积 m ²	0.0560	0.0853	0	0
	度电需要隔热面积 m ²	0.0314	0.0976	0	0
散热能力	单体水冷面积 m ²	1.0440	0.0747	>0.00077	0.00228
	每度电水冷面积 m ²	0.0158	0.0170	>0.0430	0.0260

资料来源: Surper 锂电池, 中国银河证券研究院

圆柱单体能量低, 单体释放的能量小, 相较于方形和软包来说不易引起热蔓延。从单体层面看安全性排序: 小圆柱>大圆柱>软包>方形。从尺寸上来看, **4680** 目前的比例是一个比较完美的临界点。在高度上可能还会继续做大, 但在直径上做大, 散热将会是问题。

图 12: 方形、圆柱、软包电池大小排列示意图

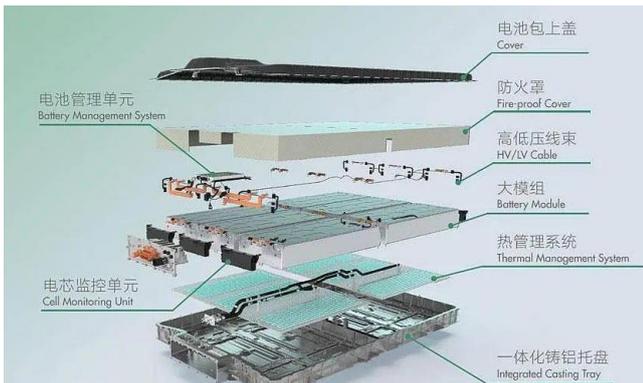


资料来源: ATL 官网, 中国银河证券研究院

圆柱电池周边隔热能力更强。相比方形电池和软包电池电芯间的紧密连接, 4680 的圆柱弧形表面, 能够一定程度上限制电池之间的热传递。

4680 采取顶部水冷和侧面水冷相结合的方式。顶部采用一块完整水冷板, 侧面采用导热发泡胶进行导热, 在圆柱原有的侧面水冷上进一步提高冷却效率。4680 每度电水冷面积是方形的 1.64 倍, 是软包的 1.53 倍。

图 13: 方形电池底部液冷方案



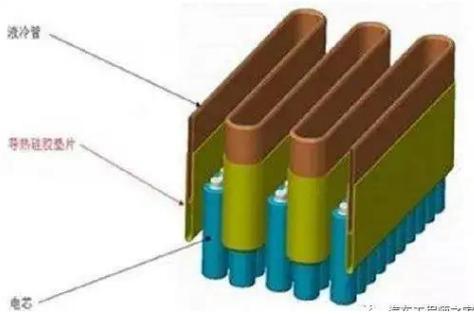
资料来源: 电动生活, 中国银河证券研究院

图 14: 软包电池底部液冷方案



资料来源: 上海车展, 中国银河证券研究院

图 15: 圆柱电池侧面液冷方案



资料来源: 汽车工程师之家, 中国银河证券研究院

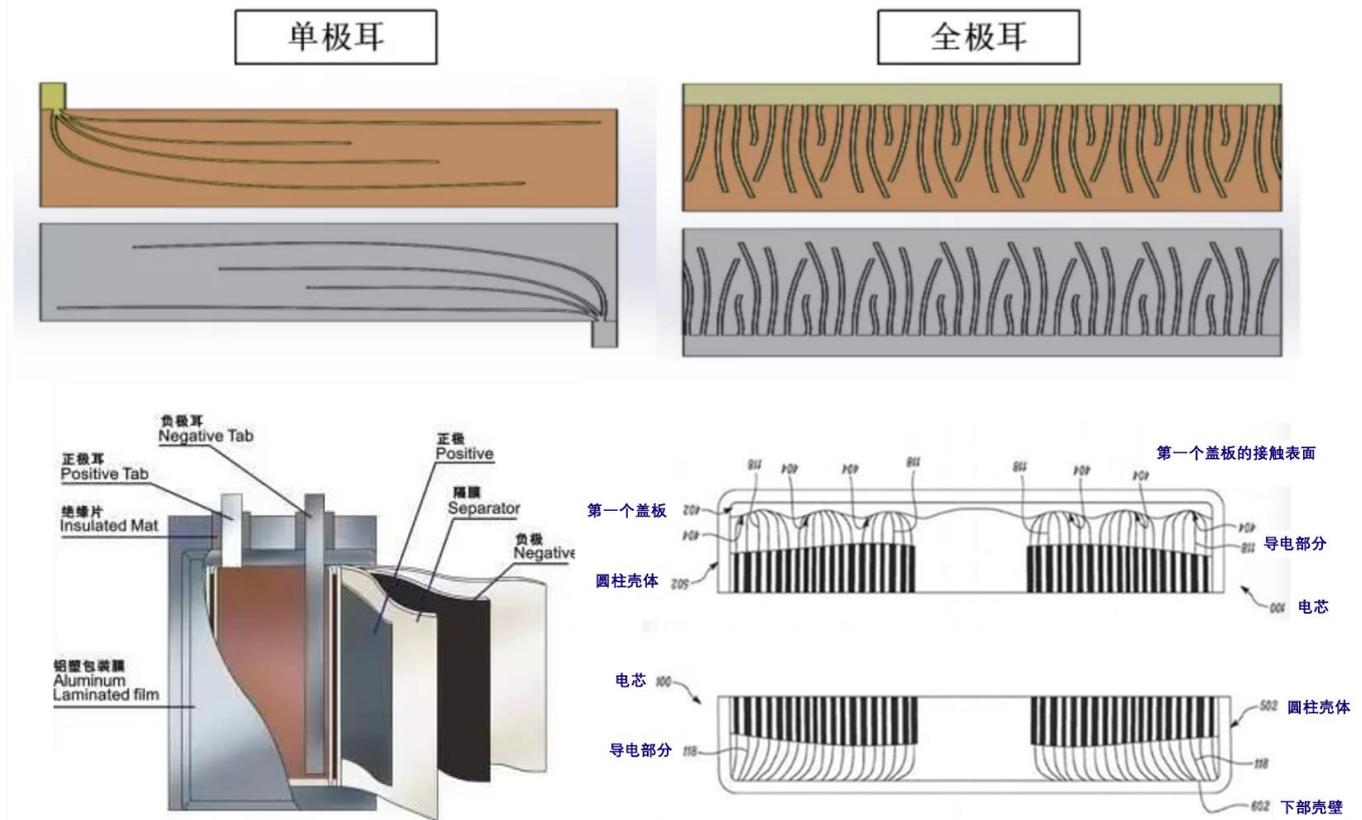
图 16: 圆柱电池顶部+侧面液冷方案



资料来源: 第一电动, 中国银河证券研究院

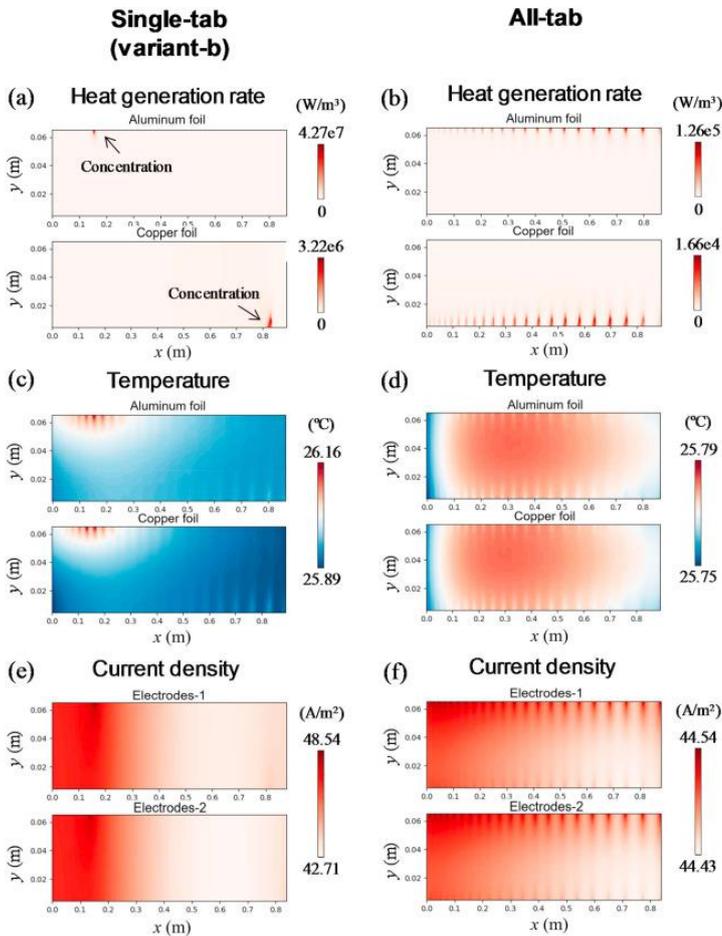
无极耳进一步提高散热性。特斯拉 4680 电芯采用全极耳/无极耳方案, 即去掉从各层引出连接到一起的金属极耳, 直接将电池两端改用导电材料, 使其直接传输电流。虽然电池变得更大, 但电流路径更短, 从 250 毫米缩减至 50 毫米, 电流传导面积更大, 阻抗大大减小, 使得大电流充放电的温升更小。4680 大幅提高电芯的散热面积, 传热更均匀, 对安全性更加敏感的三元材料更具吸引力。

图 17: 单极耳与全极耳原理示意图与结构示意图



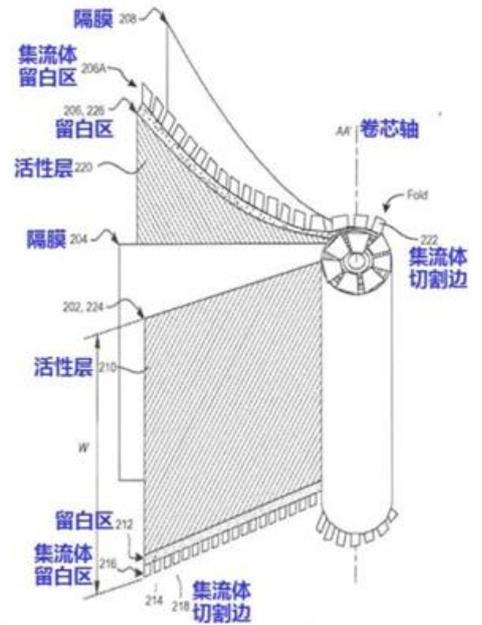
资料来源: 高工锂电, 特斯拉官网, 中国银河证券研究院

图 18: 单极耳与全极耳温度分布对比



资料来源: LA Shen, *Optimal cell tab design and cooling strategy for cylindrical lithium-ion batteries*, 中国银河证券研究院

图 19: 大圆柱电池卷芯结构



资料来源: 理想生活, 中国银河证券研究院

图 20: 大圆柱电池的结构-无极耳



- 大圆柱电池最核心的创新: 无极耳/全极耳技术
- 本图为特斯拉早期的设计, 与当前量产的设计已经有较大区别

资料来源: 比克电池官网, 特斯拉电池日, 中国银河证券研究院

(三) 快充成未来趋势，4680 高倍率优势明显

补能焦虑不断提升的当下，电动汽车高速快充是发展的趋势之一。高速快充的落地需要桩、车、电池三方联动，整个产业链协同共进。

充电桩方面，快充标准奠定基础。国内 2021 年 9 月落地的 ChaoJI 充电标准最高可支持 1500V 充电电压和 600A 充电电流。目前被国际上广泛接受的电动汽车直流充电技术标准，无论是日本 CHAdeMO、欧洲 CCS 还是中国 GB/T，均已确立 450kW 以上的充电功率目标。

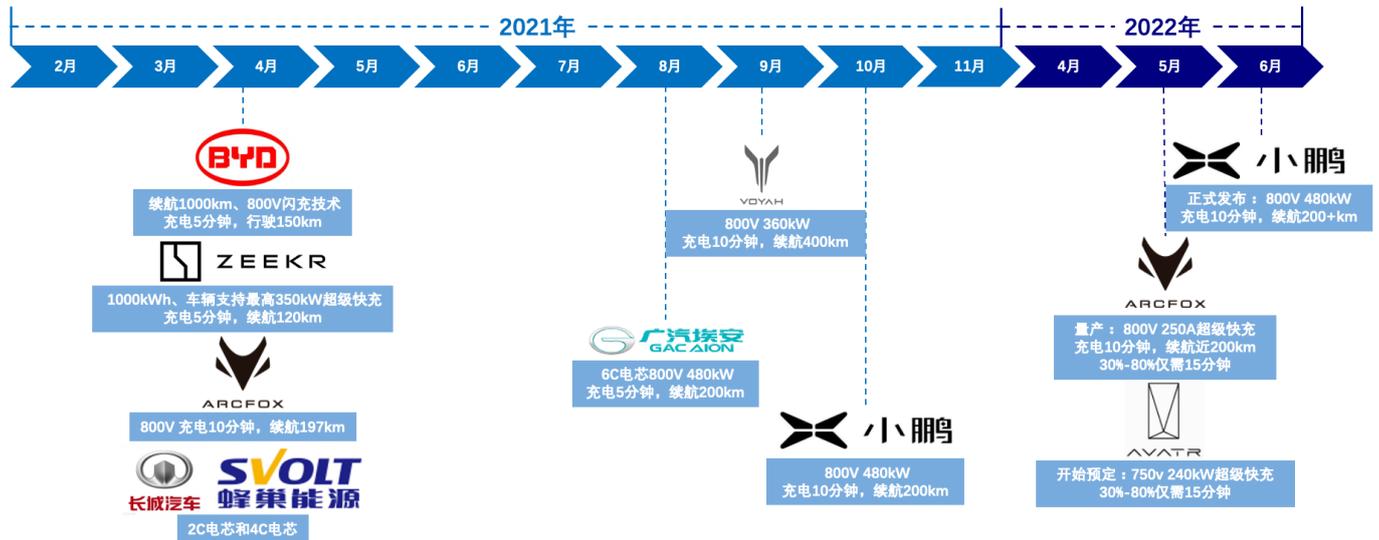
表 4：快充功率及时间

参数	21Q1		未来	
电流 (A)	250		500	
电压 (V)	400	800	400	800
最大充电功率 (kW)	100	200	200	300-500
30-80% SOC 所需时间 (min)	30	15	15	6-10

资料来源：电动知未来，中国银河证券研究院

车企方面，国内热销车型普遍停留在电压平台 400-600V、充电倍率 2C 以下。特斯拉 Model 3 电压平台为 400V，理论充电倍率约为 1.85C，为行业较高水平。比亚迪汉 EV 最大充电系统电压为 569.6V，可实现 25 分钟 30%-80% SOC 的充电速度。如果新能源汽车可以搭载 800V 电压平台，充电倍率可轻松实现 2.2C-6C，充电速度则大幅提升。保时捷 Taycan 是第一款量产的 800V 架构电动车，同一个超快充阵营的欧美企业 Ioney 也有 800V 的产品规划。与此同时，比亚迪、广汽埃安、华为、极氪、极星、小鹏、岚图、理想等都在打造高压平台，各大车企基于 800V 高压技术方案的新车将在 2022 年之后陆续上市。

图 21：800V 快充技术布局情况



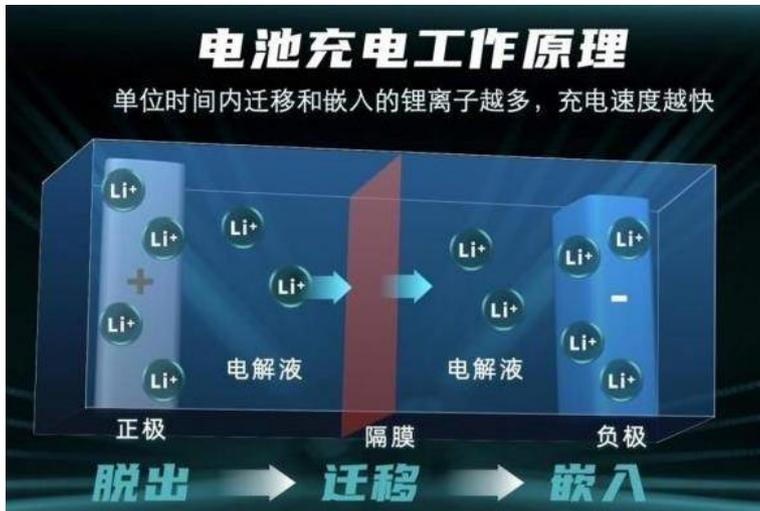
资料来源：汽车电子设计，中国银河证券研究院

电池方面，快充能力取决于锂离子的脱嵌和迁移速率。在高充电倍率下，锂离子脱嵌和迁移的速率加快，部分锂离子来不及进入正负极形成副产物，导致活性物质损失，加速电池寿命衰减。

与此同时，析锂现象容易加剧，所产生的锂枝晶一旦刺穿隔膜，将导致电池内部短路，

造成起火等安全风险。快充对电池热管理能力要求高。大电流高电压更容易产生大量热，对电池低阻抗、强散热要求更高。

图 22：电池充电工作原理



资料来源：EV 世纪，中国银河证券研究院

电池企业、车企在快充技术研发上各显身手。中国多家头部动力电池企业包括宁德时代、孚能科技、蜂巢能源、欣旺达等，都在积极研发创新，也包括部分车企。

表 5：快充电池技术进展

企业	倍率	充电时间	快充技术			
			正极	负极	其他	
电池企业	蜂巢能源	4C	20-80% SOC 充电 10 分钟	前驱体定向生长	负极表面改性	超导电解液
	宁德时代	-	80% SOC 充电 15 分钟	超电子网	各向同性石墨	快离子环、超导电解液、高孔隙隔膜、多梯度极片
车企	广汽埃安	6C	30%-80% SOC 充电 8 分钟	石墨烯混合	包覆改性技术	涂覆陶瓷隔膜、高功率电解液、降低电芯内阻、双层液冷
	保时捷	-	80% SOC 充电 15 分钟		硅负极	-

资料来源：各公司新闻，中国银河证券研究院

蜂巢能源正极采用前驱体定向生长精准控制技术，通过控制前驱体合成参数，一次粒径放射状生长，打造离子迁移“高速公路”，提高离子传导速度。负极表面改性技术，采用液相包覆技术在石墨表面包覆无定形碳，降低阻抗，提升了锂离子通道工作效率。采用含硫添加剂/锂盐添加剂等低阻抗添加剂体系电解液，降低正负极界面成膜阻抗，从而提高电解液导电率。

宁德时代的策略是正极领域采用超电子网充分纳米化的材料表面，搭建了四通八达的电子网络，使得正极材料对充电信号的响应速度和锂离子脱出速率得到大幅度提升；负极导入各向同性技术，使锂离子可 360 度嵌入石墨通道，显著提升充电速度，同时修饰多孔包覆层的阳极材料表面，提供丰富的锂离子交换所需要的活性位点，极大地提高锂离子电荷交换速度和锂离子的嵌入速率；引入拥有超强运输能力的超导电解液，提升锂离子在液相和界面的传输速度，通过调控极片多孔结构的梯度分布，实现上层高孔隙率结构、下层高压实密度结构等。

图 23：宁德时代快充技术

超电子网	快离子环	各向同性石墨	超导电解液
充分纳米化的材料表面，搭建了四通八达的电子网络，使得负极材料对充电信号的响应速度，和锂离子脱出速率得到大幅度提升。	修饰多孔包覆层的阳极材料表面，提供丰富的锂离子交换所需要的活性位点，极大地提高锂离子电荷交换速度和锂离子的嵌入速率。	导入各向同性技术，使得锂离子可以从360度嵌入石墨通道中，实现充电速度的显著提升。	通过引入拥有超强运输能力的超导电解液，大幅提升锂离子在液相和界面的传输速度，实现电池充电速度的快速提升。
高孔隙隔膜	多梯度极片	多极耳	阳极电位监控
创新性采用高孔隙率隔膜，能够有效降低锂离子的平均传输距离，使锂离子在阴阳极之间来去自如，大幅降低锂离子传输阻力。	通过调控极片多孔结构的梯度分布，实现上层高孔隙率结构，下层高压实密度结构，完美兼顾高能量密度和超级快充双核心。	开发多维空间极耳技术，极大提升极片的电流承受能力，突破500A直充电芯温升过高的技术瓶颈。	通过对阳极电位的监控，实时调整充电电流，确保电池在最大充电速度的过程中不会析锂，从而能做到极限的充电速度。

资料来源：宁德时代官网，中国银河证券研究院

广汽埃安石墨烯电池的镍钴锰酸锂三元正极材料与石墨烯混合制成形成一个近似球面的三维结构，搭建高效立体导电网络，从而提升电荷传递效率。负极采用特有软碳硬碳石墨烯包覆改性技术。同时采用涂覆陶瓷隔膜和新型高功率电解液，提高电池的倍率性能和热稳定性，使得电芯可进行高倍率持续充电。

图 24：广汽埃安快充技术

资料来源：广汽埃安官网，中国银河证券研究院

保时捷正在研发硅负极取代传统石墨负极的高性能电池，以获得更高能量密度和快充性能。

以上技术多从材料端提高快充能力，4680 电池不仅从材料体系适配快充，同时改变结构提高充电倍率。适配硅基负极，可获得更高的能量密度和倍率性能；电解液中添加新型锂盐，提高电解液窗口，可提高充放电电压。采用全极耳/无极耳方案，阻抗更小（单极耳的阻抗很难降低下来），电极倍率可提高 4-5 倍，更容易实现快充功能。以色列初创电池企业 StoreDot 官宣，已经生产出首款 4680 圆柱形电池，电池充满电只需要十分钟。

(四) 大势所趋，特斯拉等头部企业争相入局

1、电池厂商

方形电池宁德时代一家独大。CATL、比亚迪、中航锂电基本上都是以方形为主。

表 6: 国内方形电池装机量占比

排名	2018	装机量	占比	2019	装机量	占比	2020	装机量	占比	2021	装机量	占比
1	宁德时代	22.99	54.8%	宁德时代	31.75	59.6%	宁德时代	28.91	57.2%	宁德时代	77.72	56.2%
2	比亚迪	11.58	27.6%	比亚迪	10.92	20.5%	比亚迪	9.34	18.5%	比亚迪	26.85	19.4%
3	国轩高科	2.26	5.4%	国轩高科	2.17	4.1%	中创新航	3.34	6.6%	中创新航	8.82	6.4%
4	亿纬锂能	1.07	2.6%	亿纬锂能	1.64	3.1%	国轩高科	2.14	4.2%	时代上汽	6.25	4.5%
5	中创新航	0.67	1.6%	中创新航	1.52	2.8%	时代上汽	1.43	2.8%	国轩高科	6.20	4.5%
6	星恒电源	0.57	1.3%	时代上汽	1.28	2.4%	瑞浦能源	0.97	1.9%	蜂巢	3.83	2.8%
7	哈光宇	0.55	1.3%	力神	1.19	2.2%	力神	0.82	1.6%	亿纬锂能	1.77	1.3%
8	力神	0.49	1.2%	欣旺达	0.66	1.2%	塔菲尔	0.68	1.3%	瑞浦能源	1.37	1.0%
9	鹏辉	0.48	1.1%	鹏辉	0.64	1.2%	亿纬锂能	0.65	1.3%	星恒电源	1.27	0.9%
10	塔菲尔	0.25	0.6%	塔菲尔	0.38	0.7%	星恒电源	0.53	1.1%	力神	1.09	0.8%

资料来源：真锂研究，中国银河证券研究院

在主流动力电池生产商中，孚能科技是唯一一家坚持三元软包路线的企业。旗下动力电池主要供应戴姆勒。

表 7: 国内软包电池装机量占比

排名	2018	装机量	占比	2019	装机量	占比	2020	装机量	占比	2021	装机量	占比
1	孚能	1.96	25.6%	孚能	1.21	21.6%	捷威	0.65	16.5%	孚能	2.49	21.3%
2	北京国能	0.78	10.2%	恒大	0.65	11.7%	孚能	0.62	15.8%	华鼎国联	1.90	16.3%
3	恒大	0.66	8.6%	多氟多	0.60	10.8%	多氟多	0.47	12.0%	捷威	1.88	16.1%
4	万向	0.61	7.9%	桑顿	0.56	10.0%	宁德时代	0.42	10.7%	亿纬锂能	1.35	11.6%
5	桑顿	0.54	7.0%	捷威	0.55	9.9%	亿纬锂能	0.42	10.6%	盟固利	0.72	6.1%
6	捷威	0.46	6.1%	河南锂电	0.40	7.2%	冠城瑞网	0.32	8.2%	SK创新	0.65	5.6%
7	微宏动力	0.41	5.4%	宁德时代	0.39	7.0%	盟固利	0.28	7.2%	宁德时代	0.58	5.0%
8	宁德时代	0.35	4.6%	盟固利	0.25	4.5%	万向	0.19	4.7%	多氟多	0.43	3.7%
9	天劲	0.30	3.9%	万向	0.18	3.3%	微宏动力	0.11	2.9%	桑顿	0.37	3.1%
10	盟固利	0.28	3.7%	微宏动力	0.18	3.2%	桑顿	0.10	2.6%	河南锂电	0.29	2.5%

资料来源：真锂研究，中国银河证券研究院

国产特斯拉装机带动 2021 年 LG 化学的圆柱电池占比达 68%。中国最早做圆柱电池的企业以小作坊的形式居多，目前除国轩高科排名第二以外，其他中国企业如力神、银隆、比克等份额较小。LG、松下、比克、亿纬都在积极布局 4680 电池。预计未来几年，在特斯拉 4680 大圆柱效应带动下，更多车企或将愿意尝试应用该类产品。

表 8: 国内圆柱电池装机量占比

排名	2018	装机量	占比	2019	装机量	占比	2020	装机量	占比	2021	装机量	占比
1	比克	1.79	25.3%	国轩高科	1.20	29.0%	LG化学	7.39	81.0%	LG化学	6.44	68.0%
2	力神	1.57	22.2%	力神	0.78	18.8%	国轩高科	0.83	9.1%	国轩高科	2.08	21.9%
3	国轩高科	0.74	10.5%	比克	0.67	16.3%	松下	0.30	3.3%	力神	0.51	5.3%
4	福斯特	0.46	6.5%	银隆	0.36	8.6%	力神	0.27	3.0%	银隆	0.14	1.5%
5	银隆	0.46	6.5%	联动天翼	0.33	8.0%	银隆	0.12	1.3%	三星SDI	0.07	0.8%
6	江苏智航	0.40	5.7%	德朗能	0.20	4.8%	比克	0.11	1.2%	松下	0.05	0.6%
7	德朗能	0.26	3.7%	松下	0.18	4.3%	苏州宇量	0.06	0.6%	比克	0.05	0.5%
8	东莞振华	0.24	3.5%	苏州宇量	0.17	4.1%	鹏辉	0.02	0.2%	苏州宇量	0.03	0.3%
9	亿纬锂能	0.16	2.3%	横店东磁	0.09	2.3%	江苏智航	0.01	0.1%	鹏辉	0.03	0.3%
10	天鹏电源	0.15	2.2%	福斯特	0.06	1.6%	沃特玛	0.01	0.1%	福斯特	0.03	0.3%

资料来源：真锂研究，中国银河证券研究院

请务必阅读正文最后的中国银河证券股份有限公司免责声明。

4680 电池将在 2022-2024 年集中量产。目前进展最快的特斯拉已于 2021 年 9 月试生产，计划 2022 年量产。其他厂商多在 22H1 开始试生产，2023 年开始量产，2024 年实现大批量供货。

表 9: 各电池厂商的 4680 规划

公司	规划								目标客户	
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	...	2030		
特斯拉	电池日	小试	小试 (70-80%)	量产						自用
松下		小试	小试 (70-80%)	量产						特斯拉等
LGES		设计	小试	小试	量产					特斯拉、宝马等
三星SDI		设计	样品	小试	小试	量产				宝马等
宁德时代			设计	小试	小试	量产	宝马预计在2025年量产			宝马、特斯拉等
比克		样品	小试	小试	量产					五菱等
亿纬			设计	小试	小试	量产				宝马、戴姆勒等
Storedot			样品	小试	小试	量产				Vinfast

资料来源：汽车电子设计，中国银河证券研究院

特斯拉：公司在召开的电话会议上披露，2021 年特斯拉 4680 电池的试点产线良率已由去年的 20% 提升至 70%-80%，全球各工厂都在 2022 年开始生产：1) 美国加州弗里蒙特工厂兼开发基地：1 月份已生产 100 万块电池，对应 1000 辆车，目标产能 10GWh，配套车型为 Model Y。二季度干电极流程实现电能输送的完全自动化，大量释放了产能，改善了产量。3 月以来每个月环比增速均达到约 35%；2) 美国德州工厂：设备已装备进产线，二季度生产出第一批 4680 电芯，三季度开始量产，计划在 2022 年底前，该工厂 4680 周产量超过加州工厂；3) 德国柏林：目前已生产出第一辆用于测试的配备 4680 电池的 Model Y。此外，松下、LG、宁德为特斯拉 4680 的潜在供应商。

2021 年 8 月，宁德时代 (300750.SZ) 与上海市人民政府签订合作框架协议，计划在上海临港建设工厂生产 4680 电池，已有中试产线，目前规划 8 条线，共 12GWh。公司目前已获宝马圆柱电池定点。

图 25: 亿纬锂能 46XX 电池



资料来源：亿纬锂能官网，中国银河证券研究院

图 26: 松下 4680 电池



资料来源：松下官网，中国银河证券研究院

亿纬锂能 (300014.SZ) 在动力锂电池领域已布局了三元圆柱，进军 4680 有一定技术储备。下游客户方面，公司在 2018 年获得戴姆勒九年长单，2020 年拿下宝马方形电池订单，宝马、戴姆勒均有应用 4680 趋势。2021 年 4 月，公司宣布与 StoreDot 联合开发 4680 和

4695 两大圆柱电池路线。StoreDot 为以色列一家专注于快充的初创公司，对硅负极有独到理解，被戴姆勒 6,000 万美金投资。2021 年 9 月，StoreDot 宣布已经生产出第一款 4680 电芯，仅需 10 分钟就能充满。11 月，亿纬宣布将在荆门高新区投资建设 20GWh 乘用车用大圆柱电池生产线，预计 22H1 开始建设，2023 年达产，2024 年产能将达到 40GWh。

松下：2022 年 6 月，Electrek 报道，松下已向特斯拉交付 4680 电池样品，公司此前已在日本建立一条 4680 电池试产线，助力其在 5 月开启大规模原型生产。松下计划在下一个财年（从 3 月算起），在日本和歌山厂投入量产 4680 电池，之后将转移至北美生产，计划为特斯拉电动皮卡 Cybertruck 等 2023 年量产的新车提供动力电池，年产能约为 10GWh。

LG：2021 年 3 月，路透社报道，LG 化学的 4680 电芯试生产线已经开始建设，目前正在韩国梧昌 Ochang 工厂改造部分产线，组装和电镀设备已经安装完毕。目标是在松下大规模生产电池之前完成试产，计划最早在 2023 年实现量产，并上调 2025 年 4680 产能规划至 120GW。LG 拿下了特斯拉在中国上海超级工厂所生产的 Model 3 和 Model Y 供应电池的订单，成为了特斯拉的主要供应商，LG 新能源接连研发了 4680、4690 等大圆柱电池，希望维持其在特斯拉供应链的占比优势。

SDI：2022 年 5 月，The Elec 报道，三星 SDI 正在测试至少两个版本的 4680 电池。其中一个版本遵循特斯拉此前公布的原始规格，也是松下及 LG 新能源计划生产的版本，用于供货特斯拉。而另一版本的尺寸则略有改动，其直径依旧为 46mm，而高度则将在 40-60mm 之间，目的是赢得除特斯拉之外的车企客户，三星 SDI 计划向宝马、Stellantis 等供应这种电池。2021 年 7 月，韩国媒体报道，三星 SDI 已完成特斯拉 Model Y 使用的新一代 4680 电池组样品的开发，目前正在进行各种测试，以验证产品结构完整性。

比克电池（CBAK 新能源）：2021 年 3 月，比克在发布会宣称，公司计划在郑州工厂新建大圆柱电池生产线，该工厂已完成土建。比克和江淮将联合开发 4680 电池及电池组。比克电池 46X0 系列大圆柱电池覆盖 80mm 至 120mm，能量密度达到 270wh/kg，其中 4680 大圆柱电池预计于 2022 年规模量产，年规划最大电池产能为 15Gwh。

蜂巢能源：2021 年 11 月蜂巢能源董事长兼 CEO 杨红新表示，大圆柱电池的市场前景广阔，今年蜂巢能源也将切入大圆柱领域。

2、车企

目前，**特斯拉**海外车型基本都使用圆柱电池，国内高性能版搭载的是 2170，标准续航版是 LFP 方形，主要目的是为了降低成本，而**高性能版和长续航版以及 Cybertruck、Semi 计划采用 4680 大圆柱电池**。量产后的第一批 4680 锂电池将率先用于位于美国德州和德国柏林的 Giga 超级工厂，装配到即将投产的 Model Y 车型上。Model 3 由于尺寸问题，被部分工程师认为不适合装配 4680 电池。

特斯拉进度最快，预计今年装车，明年起量。参照 2170 对 1865 的替代速度，2022 年仍以 2170 为主，2023 年后逐步转向 4680，并且海外进展将快于国内。目前 4680 已顺利装车，预计 2022 年搭载 4680 的 Model Y 将在海外销售 8 万辆，对应装机量约 8GWh，当年车辆渗透率约 5%。2023 年，除了 Model 3 的其他所有车型均将实现 4680 电池版本的销售，预计总销量将达到 36 万辆，对应电池装机约 50GWh。到 2025 年，特斯拉 4680 车型销量预计有望达到 121 万辆，对应电池装机量约 178GWh，当年车辆渗透率接近 30%。由此可得，2022-

2025 年特斯拉 4680 装机量的复合增速 CAGR 将高达 186%。

表 10: 特斯拉 4680 装机测算

	2022E	2023E	2024E	2025E
特斯拉全球销量 (万辆)	151	220	308	416
YOY		146%	140%	135%
Model 3 销量 (万辆)	60	75	95	120
Model S&X 销量 (万辆)	6	8	9	10
Model Y 销量 (万辆)	85	125	175	235
Cybertruck 销量 (万辆)		10	25	45
Semi 销量 (万辆)		2	4	6
特斯拉 4680 销量 (万辆)	8	36	78	121
YOY		450%	217%	155%
Model S&X 销量 (万辆)		4	9	10
Model Y 销量 (万辆)	8	20	40	60
Cybertruck 销量 (万辆)		10	25	45
Semi 销量 (万辆)		2	4	6
特斯拉 4680 装机量 (GWh)	8	50	111	178
YOY		658%	222%	160%

资料来源: 公司公告, marklines, 中国银河证券研究院

宝马计划应用于其大、中、小三个车型平台, 均为 CTC 产品。4695 三元大圆柱已经开始招标, 预计 2023-2024 年或将有样车推出, **2024-2025 年开始大批量生产, 规模约 100-120 GWh。**

全球掀起 4680 热潮。戴姆勒、苹果、Lucid、Rivian 以及小鹏、蔚来、一汽、江淮、大众中国也在布局 4680。戴姆勒 2017 年以 6 千万美金投资的 StoreDot 正在研发 4680 电芯。江淮汽车与 CBAK 新能源联合开发 4680 电池; 作为与江淮汽车的合资企业, 大众安徽 (大众持股 75%) 旗下推出的车型可能采用其 4680 电池。计划造车的苹果公司在陷入与宁德时代和比亚迪的谈判僵局后, 与松下频频接触, 或转向使用 4680 电池。美国新兴造车势力 Lucid、Rivian 早期即采用圆柱方案。

二、4680 引领技术变革

(一) 正极：超高镍多元

1、适配度高，加快布局

受益于刀片电池以及 CTP 技术，铁锂方形成本低且安全性高，铁锂 4680 圆柱不具备明显优势。铁锂版的 4680 电池在理论上是可以实现的，主打高循环性能，应用领域包括储能系统、轻型车以及低价车型。宁德时代、亿纬锂能就已经公布了两轮车磷酸铁锂大圆柱电池方案，目前正在推动产能建设。

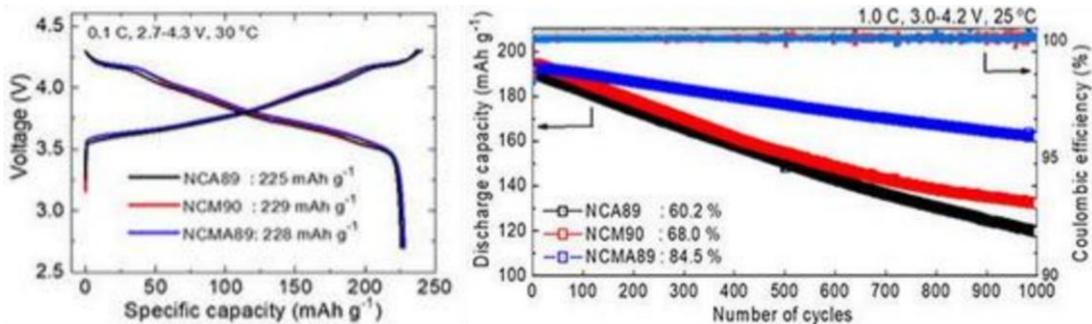
三元 4680 圆柱降本后与铁锂方形成本相近，安全性也得到提升。4680 圆柱电池单体容量约 24Ah，比典型方形电池 100-300Ah 要小、单体热失控影响小且泄压方向可控，叠加全极耳设计，使得三元 4680 圆柱发热量小、热管理难度低。4680 圆柱电芯的成组效率（约 70%）比方壳电芯（>80%）的成组效率低，为了充分发挥圆柱电芯散热性能和内部应力分布均匀的优势，4680 电芯唯有搭配高镍正极材料，硅碳负极材料才能极致提升电芯和系统能量密度。

三元材料由镍、钴、锰（或铝）三种金属组成，其中，镍是电极反应中关键的活性物质，在充放电中参与氧化还原反应。三元材料整体能量密度高低的关键就在于镍含量。为了实现正极更高的性能和更低的成本，不断减少钴含量、增加镍含量。高镍三元继续超高镍化，从 NCM8 系、NCA8 系继续向 NCM9 系、NCA9 系、NCMA、无钴化发展。

NCMA 四元材料是基于目前两大主流三元高镍材料 NCM 与 NCA 混合而成，通过在 NCM 三元材料中掺杂 Al 粒子得到，本质是用 Al 替代 Co。NCMA 在提升镍含量的同时兼顾了降本和材料稳定性。NCMA 的镍含量已达到 90%，提高了比容量；相对廉价的铝元素的混入，大幅减少昂贵的钴元素含量至 5% 以下；形成的 Al-O 化学键强度远大于 Ni(Co, Mn)-O 化学键，从化学性质上增强了正极的稳定性。

NCMA 的循环性能也明显优于比容量相似的 NCM 和 NCA。韩国 Un-Hyuck Kim 团队使用 1C 电流在 25°C 1000 次充放电循环后，NCMA89 电池的放电容量下降至原先的 84.5%，而 NCM90 与 NCA89 的放电容量则分别下降至原先的 68.0%、60.2%。

图 27：NCMA 与 NCM 和 NCA 循环稳定性对比



资料来源：Un-Hyuck Kim, 《Extending the Battery Life Using an Al-Doped Li[Ni_{0.76}Co_{0.09}Mn_{0.15}]O₂ Cathode with Concentration Gradients for Lithium Ion Batteries》中国银河证券研究院

根据各家电池厂公布的方案来看，4680 电池正极材料目前以超高镍方向为主。不同企业选择的体系不同，如特斯拉使用 NCM91，LG 使用 NCMA。根据公开资料，我们推测宁德时代、亿纬锂能、SKI 将使用 NCM 高镍体系，松下、SDI 使用 NCA 高镍体系。

表 11: 各企业 4680 正极技术路线梳理

企业	正极三元技术路线进展	4680 技术路线
特斯拉	NCM 超高镍方案	NCM91
宁德时代	聚焦 NCM: 第二代 NCM811 电池将和硅碳负极配合，制造出了比容量 304Wh/kg 的高镍电池样品	NCM811*
亿纬锂能	NCM/NCA 并行: 2021 年 5 月拟与 SKI、亿纬共同投资建设“年产 5 万吨锂电池高镍三元正极材料项目”	NCM9*
松下	坚持 NCA: 85% 的产能供给特斯拉，已向其大规模供应钴含量低于 5% 的 NCA 电池，计划在三年内交付无钴电池	NCA9*
SKI	聚焦 NCM: 2021 年初 SKI 公布最新的 NCM9 体系，钴含量降低至 5%	NCM9*
LG	聚焦四元 NCMA: 镍含量达 90%，计划供应（特斯拉上海工厂 Model Y 车型）特斯拉 4680 电池	NCMA
SDI	偏向 NCA: 2020 年 5 月推出第五代动力电池，使用 NCA 材料；2021 年 InterBattery 上展示了镍含量 90% 以上的 NCA 电池，已经开始生产镍含量达 91% 的 NCA 圆柱电池，未来其高镍电池的镍含量还将进一步提高至 94% 甚至更高	NCA9*

资料来源: GGII, 真理研究, 鑫椏锂电, TheElec, KoreaHerald, OFweek, 各公司公告, 中国银河证券研究院 (*为推测)

正极材料方面，中国企业进入国外龙头供应链，成为出货量加速的新动力。当升科技（300073）有望凭借多家海外客户布局，进入特斯拉 4680 电池供应链。公司目前主推 NCM 体系，8 系、9 系产品均已实现批量销售，主要面向海外市场运用在 4680 圆柱上。9 系以上产品尚处于认证阶段，预计 2022 年实现批量销售。根据年报披露，Ni95 产品已完成国际客户验证，超高镍产品 Ni98 正在开展客户认证工作。

公司加快推进国内和海外产能建设进度。2021 年常州一期 2 万吨建成后快速达产，常州二期 5 万吨高镍多元和江苏四期 2 万吨小型锂电正极预计于 2022 年下半年投产。海外产能方面，公司启动了欧洲首期年产 10 万吨锂电新材料产业基地项目，成为国内率先进入欧洲建设产能的正极企业，目前已完成可研论证，并与 FMG、SK 等合作伙伴签订战略合作协议。同时公司与 SK 商定在韩国或美国合资设立锂电正极材料工厂，目前已进入前期立项阶段。

贝特瑞（835185）于 2020 年 6 月开始供货松下 NCA。此前松下供货商仅有一家住友金属（全球第一 NCA 正极材料生产商），未来松下的大部分 NCA 正极材料增量需求或将全部交给贝特瑞。截至 22Q1 松下电池出货量可供 170 万辆电动车使用。今年 5 月，松下 4680 电池在日本开始试生产；6 月，据共同社消息，松下计划到 2028 年把车载电池的生产能力最多提高到目前的四倍（约 200GWh），最快 2023 年量产新型车载电池，向北美市场供应。

前驱体方面，中伟股份（300091）已经与当升科技、贝特瑞等企业签署战略合作协议，预计在未来 3 年内将锁定合计超 25 万吨三元前驱体供货订单。格林美（002340）则与 ECOPRO（全球第二大 NCA 正极材料生产商）、容百科技、亿纬锂能等企业签署战略供应合作协议，与三大韩国电池制造商深度绑定。

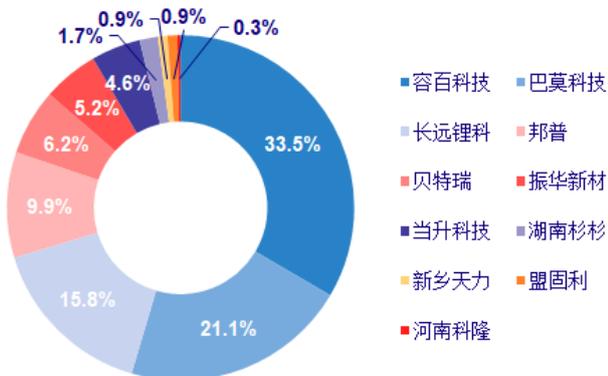
表 12: 各电池企业正极材料与前驱体供应商梳理

电池厂商	宁德时代	亿纬锂能	松下	SKI	LG	SDI	
自产	NCM	-	-	NCM	NCMA	NCA	
国内正极 供应商	容百科技	NCM	NCM	-	-	NCMA	-
	巴莫科技	NCM	-	-	-	NCMA	-
	长远锂科	NCM	-	-	-	-	-
	湖南邦普	NCM	-	-	-	-	-
	贝特瑞	-	NCM/NCA	NCA	NCM	-	-
	振华新材	NCM	-	-	-	-	-
	当升科技	-	-	NCM	NCM	NCMA	NCM
国外正极 供应商	Ecopro BM	-	-	-	NCM	-	NCA
	住友金属	-	-	NCA	-	-	-
	优美科	-	-	NCM	-	-	NCM
	L&F	-	-	-	-	NCMA	NCM
	浦项化学 (POSCO)	-	-	-	-	NCMA	NCM
Cosmo AM&T	-	-	-	-	NCMA	-	
前驱体供 应商	格林美	NCM	NCM	-	NCM	NCMA	NCM/NCA
	中伟股份	NCM	NCM	NCM	NCM	NCMA	NCM
	芳源股份	-	NCA	NCA	NCM	-	-
	KEMCO	-	-	-	-	NCMA (合资)	-

资料来源: GGII, 真理研究, 鑫椏锂电, TheElec, Koreaheald, OFweek, 各公司公告, 中国银河证券研究院

根据高工锂电数据, 2021 年国内三元材料总产量为 39.81 万吨, 同比增长 89.5%; 全球三元材料总产量为 72.97 万吨, 同比增长 79.3%。根据真理研究数据, 8 系以上高镍材料占比达到 39.5%。国内高镍正极竞争格局较为集中, CR5 达到 86.4%。

图 28: 2021 年我国 8 系及以上正极材料厂商出货占比



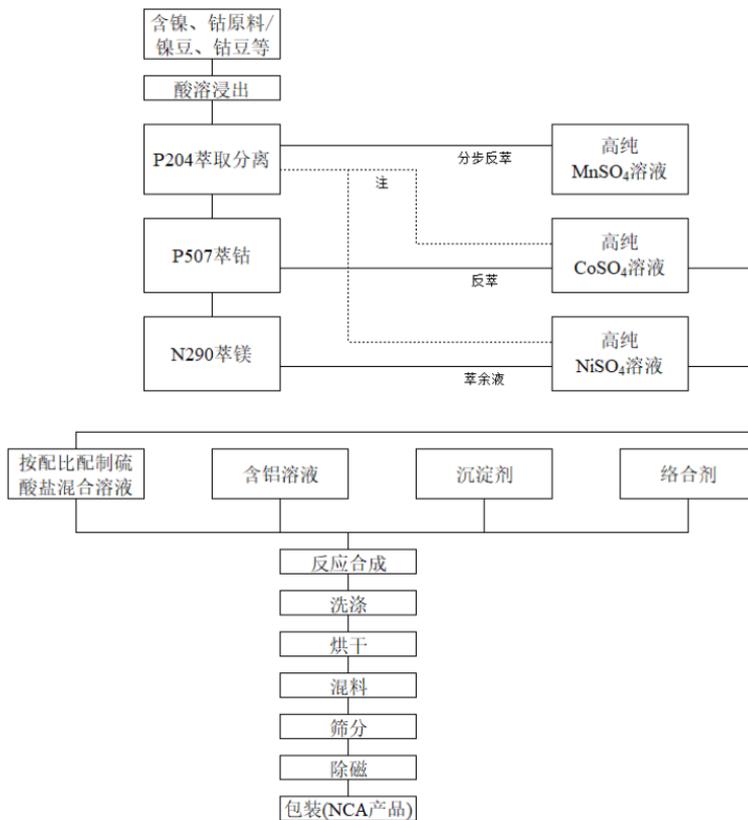
资料来源: 真理研究, 中国银河证券研究院

2、生产工艺升级

高镍体系具有超高能量密度的优点, 但存在循环结构稳定性和安全性不足等劣势。其在工作过程中会出现阳离子混排、晶格畸变、微裂纹、界面副反应和残余碱含量高等问题。相比普通三元, 高镍体系对生产工艺提出了更高要求。

前驱体工艺方面, 以使用氢氧化物共沉淀法的前驱体制备工艺为例, 原料为硫酸镍 (氯化镍)、硫酸钴 (氯化钴)、硫酸锰 (氯化锰)、氢氧化钠等, 在反应釜混合后经过脱水、洗涤、干燥、陈化等步骤得到前驱体成品。相比之下, 超高镍材料的酸碱度控制更严格, 由于 Ni 含量极高, 所以所需 pH 值也更高, 需要很高浓度的氨水作为络合剂。

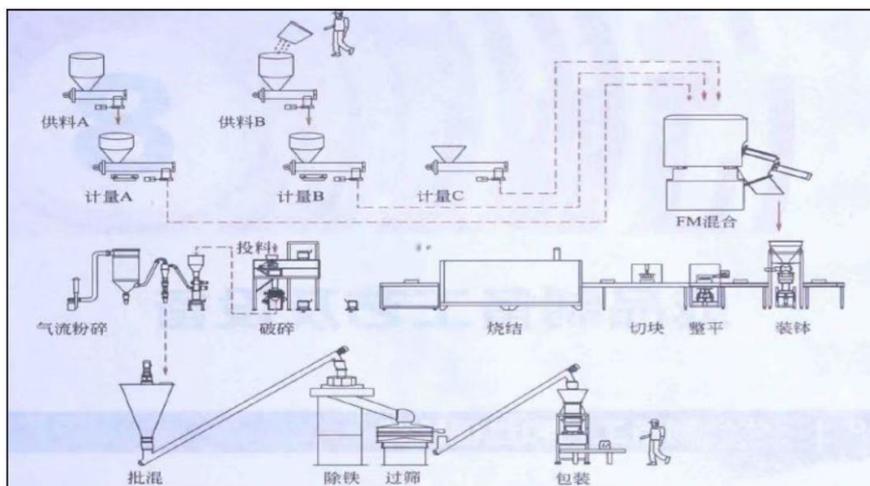
图 29: NCA 三元正极前驱体的工艺流程图



资料来源：芳源环保，中国银河证券研究院（当使用镍豆、钴豆为原料时，在酸溶浸出后，只需通过 P204 萃取除杂工序，萃余液即可进入混合硫酸盐配制工序使用，无需再经 P507 和 N290 萃取工序）

超高镍体系正极工艺流程：将前驱体和氢氧化锂按一定比例在混料机中均匀混合，接着将产物装入匣钵中放入窑炉煅烧，煅烧次数一般为 1~4 次，各厂家不同；每次煅烧之间需要粉碎、洗涤、干燥、包覆等步骤，煅烧后需冷却，接着筛分除铁，最后进行批量包装。

图 30: 正极材料生产流程示意图



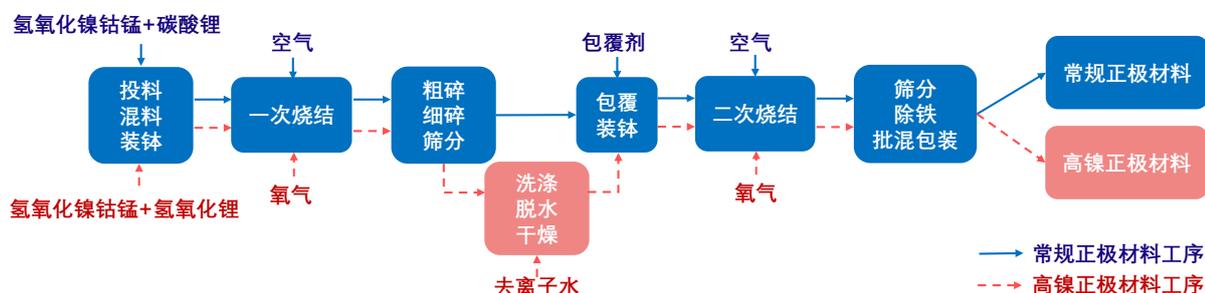
资料来源：《锂离子电池三元材料》，中国银河证券研究院

超高镍三元材料的制造过程与普通三元不同的地方主要体现在：1) 超高镍体系氧化性强易

请务必阅读正文最后的中国银河证券股份有限公司免责声明。

与电解液的表面副反应，需要包覆抑制电解液对活性物质的侵蚀；2) 对能量密度和充放电倍率要求高，使用氢氧化锂作为锂源。因为氢氧化锂不需过高的烧结温度，从而减少阳离子混排，提高循环稳定性；3) Ni^{3+} 在高温固相反应中是不稳定的，所以很难在空气中合成理想的高镍三元正极材料。为了降低阳离子混排概率、减少杂相生成，**烧结需要使用纯氧**；4) **煅烧温度要低**。镍含量越高，Li/Ni 混排就越容易发生，所以需要煅烧温度越低；5) **煅烧时间长、耗电量大**。一烧分为混料、烧结和破碎，对于设备的要求主要集中在烧结。一烧的时间比二烧长，同样一吨的材料，一烧需要 22-24 个小时，二烧只要 7-8 个小时；6) **对除湿、磁控、密封性方面也有更高要求**。为了减少杂相生成，需要在真空或氮气氛围下包装，全过程需要严格控制湿度 10% 以下。

图 31: 正极材料生产工艺



资料来源：容百科技公司公告，中国银河证券研究院

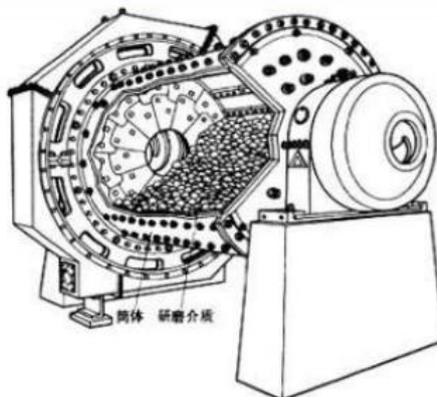
高镍正极生产设备方面，1) 使用高速混合机代替球磨机作为混合设备。高速混合机的残留混合、占地空间、混合效果及均匀性等优于球磨机。高混机的叶片结构使物料形成漩涡状态的高速混合搅拌，加热干燥，设备在高速运转时将物料快速分散，搅拌桨利用重力和离心力作用使下面物料向上抛起，上面的物料迅速下压，来回循环，从而达到高速混合的作用。高镍三元正极全程需控制湿度，**高速混合机的密封性要好**，整个工作环境必须湿度控制在 10% 以下。同时高速混合机具有更好的耐腐蚀性。

图 32: 高速混合机



资料来源：北方华创官网，中国银河证券研究院

图 33: 球磨机



资料来源：凤形股份招股说明书，中国银河证券研究院

2) 装钵工序是将锂化混合后的材料倒入特制匣钵中，匣钵是在煅烧时盛装高镍三元正极的容器。对于设备密封性和耐腐蚀性要求更高，匣钵的氧化铝（刚玉）含量更高，以增加耐

腐蚀性。由于高镍三元对闸钵的质量要求高，单个匣钵的装料量小于普通三元正极，单吨消耗匣钵费用是普通三元近 6 倍。

图 34：三元正极匣钵



资料来源：北京华晶国际贸易有限公司，中国银河证券研究院

表 13：不同三元正极匣钵成本测算

	单个匣钵装料量 (kg)	单个匣钵使用次数 (次)	单个匣钵价格 (元)	每吨物料消耗个数 (个)
普通三元正极	6	15	60	11.11
高镍三元正极	4	10	150	25.00

资料来源：北京华晶国际贸易有限公司，中国银河证券研究院

3) 窑炉整条产线（包括炉膛、传动系统和辊棒等）同时具备高密封性、耐碱耐氧腐蚀、控温精度高（5℃以内）、温度分布均匀性高。高镍三元产线一般使用辊道窑，用耐高温的陶瓷辊棒直接驱动耐火板前进，装载产品的耐火板直接承载在辊棒上。相比推板窑，辊道窑产线效率高，不容易发生“拱窑”现象。

图 35：辊道窑



资料来源：新天力公司，中国银河证券研究院

图 36：推板窑



资料来源：合肥费舍罗热工装备有限公司，中国银河证券研究院

国内能生产密封辊道窑的企业较少，窑炉大部分采购自国外或国内外合资企业。国内外知名制造厂商包括德国萨克米、日本 NGK、则武 Noratake、广东中鹏、广东高砂、苏州汇科等，另外，其他公司也在研制开发，如湖南金炉、无锡中工、湖南新天力、中电科 48 所、43 所等。

（二）负极：硅基材料

1、硅基负极蓄势待发

石墨负极潜力挖掘完全。目前高端石墨克容量已经达到约 365mAh/g，接近理论克容量 372mAh/g。从负极材料角度，电芯能量密度的提升需要开发出具有更高克容量的负极材料。

硅基负极最具商业化前景。由 $5\text{Si}+22\text{Li}^++22\text{e}^-=\text{Li}_{22}\text{Si}_5$ 可知，5 个硅的摩尔质量为 140.43

g/mol, 5 个硅原子结合 22 个 Li, 则硅负极的理论容量可达 4200mAh/g, 是石墨的 10 倍多。硅基负极是非常具有潜力的下一代高能量密度锂离子电池负极材料。根据中国能源信息平台数据, 目前采用添加硅负极材料的锂离子电池的质量能量密度可以提升 8% 以上, 体积能量密度可以提升 10% 以上。

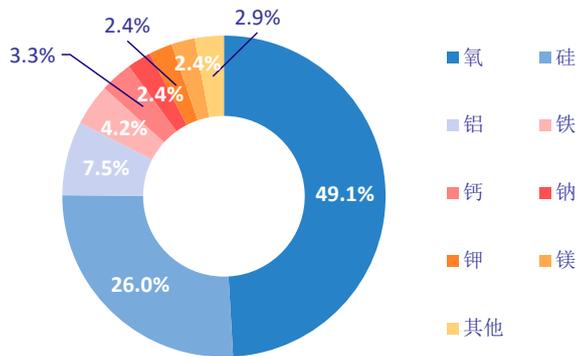
表 14: 石墨与硅单质性能对比

	密度 (g/cm ³)	嵌锂相	理论质量比容量 (mAh/g)	理论体积比容量 (mAh/cm ³)	体积变化 (%)	对锂电位 (V)
石墨	2.25	LiC ₆	372	837	12	0.05
硅	2.33	Li _{4.4} Si	4200	9786	320	0.4

资料来源: 华经产业研究院, 中国银河证券研究院

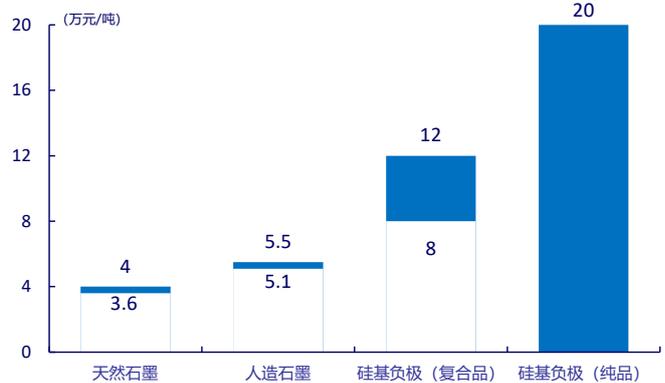
硅材料来源广, 储量丰富。硅是地球上储量第二的化学元素, 工业硅生产的上游原料清晰, 包括硅石和碳质还原剂, 工业硅的主流生产方法为电弧炉法, 实质是高温还原反应。电弧炉耗电极大, 电力成本在工业硅生产总成本中占据核心位置, 用煤成本与硅石成本次之。

图 37: 地壳中的硅元素含量占比



资料来源: 中国粉体网, 中国银河证券研究院

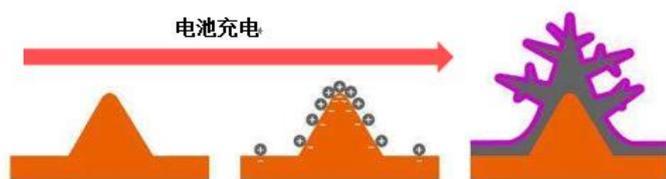
图 38: 22Q2 石墨类负极及硅基负极单价对比



资料来源: GGII, 中国银河证券研究院

解决枝晶问题, 安全性得以提升。负极石墨电压平台接近锂的析出电位, 易产生锂枝晶, 枝晶刺破隔膜, 正负极将发生短路, 严重威胁电池安全。硅的电压平台比石墨高, 硅基负极的电极反应优先于锂枝晶生成, 使得锂离子不以枝晶形式析出。

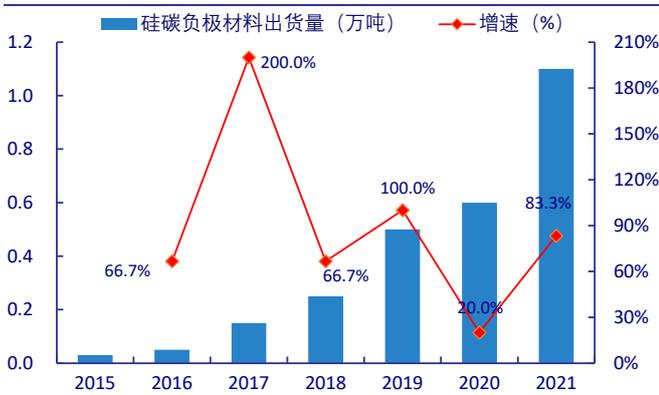
图 39: 锂枝晶在电池工作时析出的过程



资料来源: 科士达官网, 中国银河证券研究院

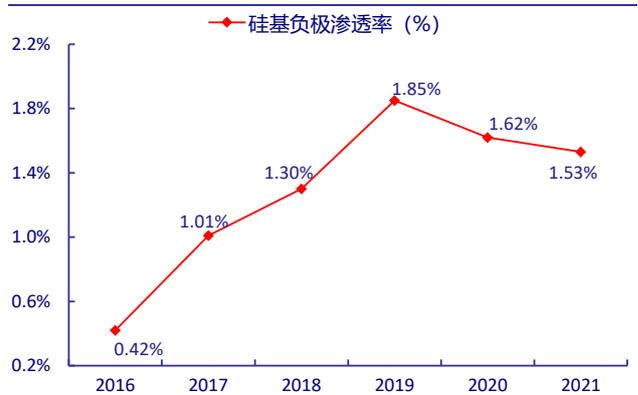
近几年硅基负极增长快。根据高工锂电数据, 2016 年我国硅基负极材料出货量仅为 0.05 万吨, 2021 年激增达到 1.1 万吨, 同比增长 83.3%, 约占当年全部负极材料的 1.5%。

图 40: 中国硅基负极材料出货量及增长情况



资料来源: GGII, 中国银河证券研究院

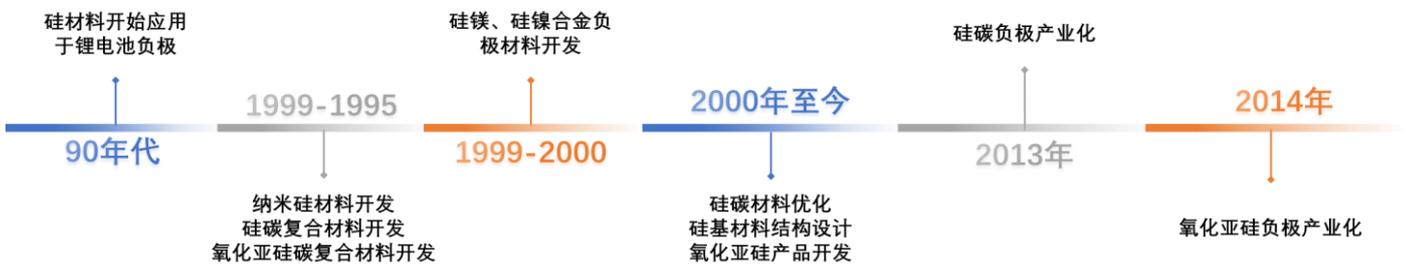
图 41: 中国硅基负极在负极渗透率



资料来源: GGII, 中国银河证券研究院

高速增长背后，一方面，来自于电动工具、智能家居锂电池市场需求旺盛，叠加国际电动工具巨头、跨境电商等锂电池供应向国内转移，高容量、高倍率锂电池需求增加带动国内硅基负极需求起量。另一方面，源于动力电池的稳定增长。动力电池方面，在目前量产车型中，仅特斯拉长续航版本车型 Model 3 在负极中掺入少量的硅，车型销量的增长带动部分国内硅基负极需求的增长。

图 42: 硅基负极发展时间线



资料来源: 新材料在线, 中国银河证券研究院

硅基负极应用车企已明显提速，特斯拉推出的 4680 圆柱电池明确搭配硅基负极，今年 2 月已启动量产下线；包括蔚来、智己和广汽埃安在电池技术上均提及硅负极，并计划今年上市交付。硅基材料应用于新一代负极已经形成共识。在宁德时代、国轩高科、星恒电源等电池厂商高比容量电池方案中，硅碳负极被明确列为发展方向。目前，国内真正实现硅基负极量产及批量供货的企业只有杉杉股份、贝特瑞、璞泰来、石大胜华、翔丰华、硅宝科技等公司处于布局、中试或研发阶段。

图 43: 硅碳负极进展情况

类型	公司	进展
车企	特斯拉	特斯拉长续航版本车型 Model 3 在负极中掺入少量的硅，4680 圆柱电池明确搭配硅基负极，今年 2 月已启动量产下线。
	广汽埃安	海绵硅负极片电池采用三元正极，搭配氧化亚硅负极材料。
	蔚来	21 年 1 月蔚来还推出了 150 kWh 电池包，采用原位固化固液电解质、无机预锂化硅碳负极、纳米级包覆超高镍正极。
电池厂商	国轩高科	210Wh/Kg LFP 电芯也首次成功应用硅负极。
	宁德时代	采用“掺硅补锂”的方式，以提升负极硅的含量，据称其最大续航里程超 1000 km，并做到 20 万 km 零衰减。
	星恒电源	现有锰酸锂材料与电池技术基础上，逐步导入包含纳米硅碳负极在内的新技术。

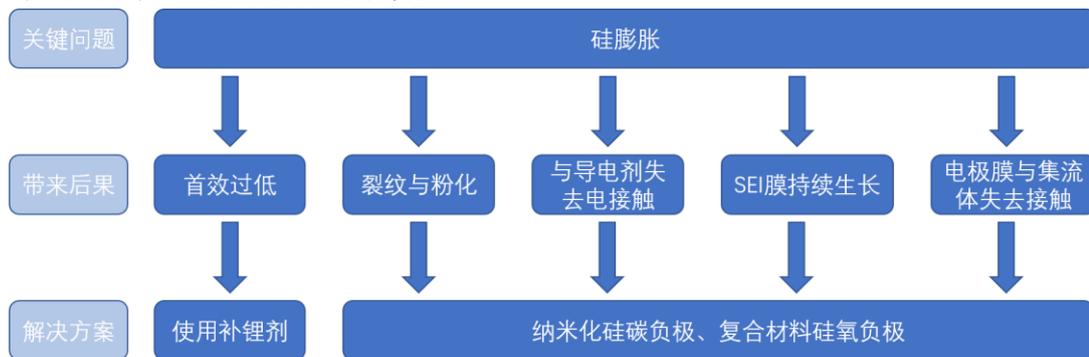
贝特瑞	在 硅碳复合负极材料 方面具备先发优势，2013年就通过了韩国三星电子的认证，开始量产供货。目前已经进入了松下-特斯拉的供应链，实现大批量供货。硅碳负极比容量可达1500mAh/g， 硅氧负极材料 比容量可达到1600mAh/g以上。	
杉杉股份	新一代 硅氧负极材料 项目已经落地。掌握前驱体批量化合成核心技术，搭载该技术所合成的材料已经通过下游核心客户测试。且突破了 预锂化硅材料 嵌入均匀性技术瓶颈，该款材料处于海外主流客户测试的第一梯队。	
璞泰来	公司已经具备中试规模的 硅碳和硅氧 能力，公司 硅碳负极材料 目前以软包电池和方形电池应用为主，有一定数量的中试品在客户端应用。	
材料厂商	石大胜华	一期1000吨 硅基负极 已经进入试生产阶段，预计今年下半年批量出货。公司还规划了2万吨级 硅基负极 产线，预计将于2023年12月份建成投产。
	翔丰华	硅碳负极材料 产品处于中试阶段，已具备产业化条件。
	新安股份	碳化硅负极 项目的中试工程已完成设备安装进入试生产前准备阶段。
	硅宝科技	硅碳负极材料 已通过数家电池厂商测评并实现小批量供货，2021年11月公告称建设1万吨/年锂电池用 硅碳负极材料 项目，产能规模从50吨提升至万吨级别。
	格隆新材	碳复合负极 已通过客户认证，到量产阶段。
天目先导	核心技术源于中国科学院物理所，其锂离子电池 硅基负极材料 目前年产能可以达到2000吨；壹金新能源技术源自中国科学院化学研究所，其年产5000吨锂离子电池 硅基负极材料 项目计划于2021年年底投产。	

资料来源：GGII，各公司官网，wind，中国银河证券研究院

4680 正极多采用高镍三元，负极使用硅基可以更好地匹配正极的高能量密度。并且由于4680 大圆柱对硅基负极的体积膨胀的容忍性更高，未来更加**适配高镍+硅基负极体系**。4680 电池中大幅增加了硅基材料的占比，预计添加量或将从2170的5%提升至10%左右，是一次重要的技术改进。4680 大圆柱电池以及长续航快充车型的规模化量产，叠加硅基负极产业链扩产提速，将推动**硅基负极材料进入爆发式增长通道**。预计2025年全球电池装机量达到2500GWh，硅基负极在三元电池中的渗透率为25%，SiOx和石墨负极克容量约1500mAh/g和350mAh/g，当SiOx含量在11%-20%时，推算出硅基负极的**市场空间可达40-60亿元**。

2、硅碳硅氧各具优势

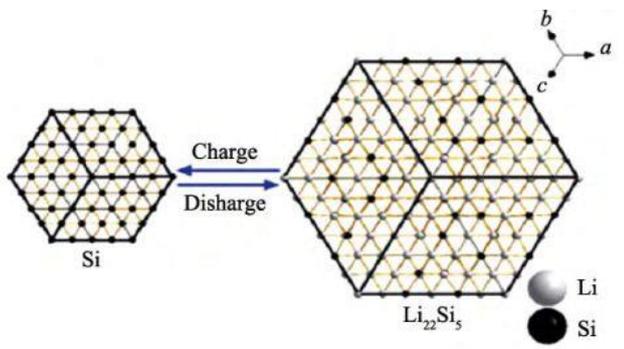
图 44：硅基负极的关键技术问题与解决方案



资料来源：中国银河证券研究院

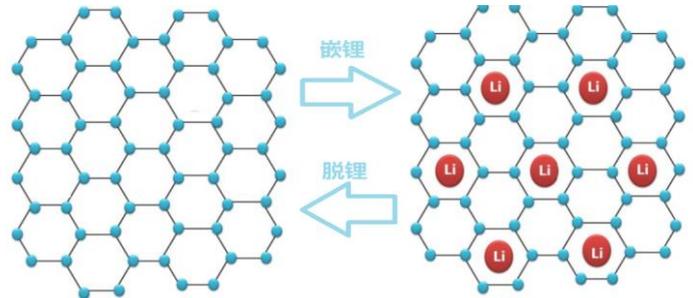
硅基负极材料亟待解决问题：体积剧烈变化。硅锂合金的生成与分解伴随着巨大的体积变化，最大膨胀可达320%。相比之下，传统的石墨负极工作时，锂嵌入石墨六边形结构间的空隙，体积变化只有16%。

图 45: 硅负极工作时体积膨胀情况



资料来源: 中国粉体网, 中国银河证券研究院

图 46: 石墨负极工作时体积膨胀情况



资料来源: Carbon nanotubes in Li-ion batteries: A review, 中国银河证券研究院

膨胀问题产生一系列不良现象: 循环性能变差、容量大量损失等。

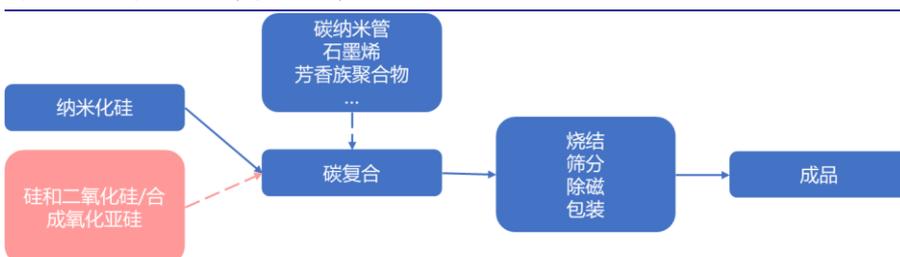
表 15: 硅负极体积膨胀带来的问题

问题	影响	示意图
裂纹与粉化: 由于反应从外至里发生, 外层已经反应并膨胀时, 内层未反应依然保持晶态硅, 材料内部产生很大的挤压导致出现裂纹, 情况进一步严重时, 导致粉化	破坏电池结构, 导致容量损失	
与导电剂失去接触: 硅材料不断涨缩后, 原本用于改善导电性的添加材料与其逐步失去接触	导电能力大幅下降	
SEI 持续生长: 形变导致硅表面的 SEI 膜反复破裂和生成, SEI 膜厚度随着电化学循环不断增加, 过厚的 SEI 膜阻碍电子转移和 Li+ 扩散, 阻抗增大, 极化增加	不断消耗电解液和 Li+, 循环性能变差, 导致容量损失	
电极膜与集流体脱离接触且开裂	破坏电池结构, 导致容量损失、性能下降	

资料来源: Wu, H. et al. 《Stable cycling of double-walled silicon nanotube battery anodes through solid-electrolyte interphase control 》, 中国粉体网, 中国银河证券研究院

对于单质硅负极膨胀带来的以上问题, 目前采用硅复合材料应对: 当前具备商业化前景的有两种: 硅碳负极和硅氧负极。硅碳负极是指纳米硅与碳材料混合, 硅氧负极则采用氧化亚硅与碳材料复合。

图 47: 硅碳负极和硅氧负极制作过程



资料来源: 中国粉体网, 中国银河证券研究院

表 16：硅碳负极和硅氧负极对比

	硅碳负极	硅氧负极
原理	$\text{Si} + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- = \text{Li}_4.4\text{Si}$	$\text{SiO} + n\text{Li}^+ + n\text{e}^- = \text{Li}_4\text{SiO}_4 + \text{Li}_2\text{O} + \text{Li}_4.4\text{Si}$
理论容量 (mAh/g)	4200	2600
实际容量 (mAh/g)	400-650	≥420
体积变化	320%	150%
首次库仑效率	较高	较低
循环性能	400-500	700-800
倍率性能	较差	较好
成本	较低	较高
现有改性方法	纳米化 (减少膨胀, 提高循环性能)、 碳复合 (提高导电性, 缓解膨胀)	预锂化处理 (提高首次库仑效率)、 碳复合 (提高导电性, 缓解膨胀)

资料来源：华经情报网，中国银河证券研究院

硅氧负极动力领域进展较快。氧化亚硅 (SiO) 在锂嵌入过程中发生的体积膨胀较小，因此相对纯硅负极，其循环稳定性有较为明显改善，更适合应用于动力电池领域，目前各大负极材料厂商对氧化亚硅负极均有所布局。但是氧化亚硅负极在充放电过程中会生产 Li_2O 等非活性物质，导致 SiO_x 材料首次效率较低 (约 70%)。相较之下，**硅碳负极克容量高、首效高，主要应用于消费电子和电动工具领域。**

表 17：各企业硅碳/硅氧负极产品性能对比

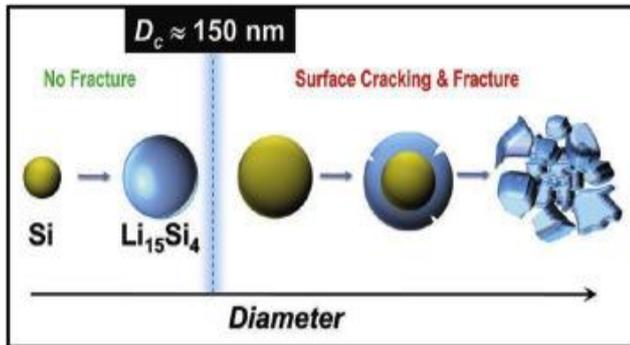
企业	产品名称	粒度 D50 (um)	振实密度 (g/cm ³)	比表面积 (m ² /g)	压实密度 (g/cm ³)	比容量 (mAh/g)	首次效率 (%)	
贝特瑞	S400	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.5-1.8	400-499	92-94	
	S500	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.5-1.7	500-599	90-92	
	S600	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.4-1.7	600-650	89-90	
中科电气	GCM-450	20.334	1.03	3.22	1.60	450	90.2	
	GCM-600	22.524	0.95	4.58	1.50	600	88.7	
	Si/C-380mAh/g	17.0-19.0	0.85-0.95	1.4-1.6	-	375-385	90-92	
硅碳负极	璞泰来	Si/C-400mAh/g	15.0-17.0	0.85-0.95	1.5-1.7	-	395-405	89-91
	Si/C-420mAh/g	14.0-16.0	0.75-0.85	1.7-1.9	-	415-425	87-89	
	Si/C-450mAh/g	17.0-19.0	0.75-0.85	1.9-2.1	1.55-1.65	440-460	86-88	
	Si/C-600mAh/g	12.0-14.0	0.65-0.75	2.9-3.1	-	590-610	83-85	
	Si/C-950mAh/g	15.0-17.0	0.65-0.75	2.9-3.1	-	590-610	83-85	
杉杉股份	SG43	10.0-15.0	0.9-1.1	≤3.0	-	≥430	92.5-94.5	
	SG45	10.0-15.0	0.9-1.1	≤3.0	-	≥450	91.5-93.5	
	SG50	10.0-15.0	0.9-1.1	≤3.0	-	≥500	90.5-92.5	
斯诺实业	SN-SC1	20.0-23.0	0.8-1.0	1.0-3.0	1.6-1.7	≥450	≥87	
	SN-SC2	10.0-13.0	0.8-1.0	2.0-2.5	-	≥1000	≥70	
正拓能源	SIC400	15.0-18.0	≥1.0	1.0-2.0	-	≥400	≥91	
	SIC420	12.0-16.0	≥0.9	1.0-2.0	-	≥420	≥91	
	SIC450	12.0-16.0	≥1.0	1.0-2.0	-	≥450	≥90	
贝特瑞	S420-2A	16.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥420	92.5±1.0	
	S450-2A	15.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥450	91.5±1.0	
	S500-2A	15.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥500	90.0±1.0	
硅氧负极	中科电气	SCM-240	8.344	1.12	2.29	1.2	240	88.0%
	SCM-280	10.197	1.03	2.83	1.2	289	84.0%	
	GS45	10.0-14.0	≥1.0	≤3.0	-	≥450	89.5-91.5	
杉杉股份	GS50	10.0-14.0	≥1.0	≤3.0	-	≥500	89.0-91.0	
	GS60	10.0-14.0	≥1.0	≤3.0	-	≥600	87.5-89.5	
	璞泰来	SiO-1800mAh/g	-	-	-	-	-	
	SiO-300LmAh/g	-	-	-	-	-	-	

资料来源：各公司官网，wind，中国银河证券研究院

3、改性方法：纳米化、碳复合、预锂化

改性方法 1：纳米化。当硅颗粒直径小于 150 纳米时，内外层反应差距不那么强烈，不会出现产生裂纹和粉碎的现象。

图 48: 硅纳米化



资料来源: 《Key functional groups defining the formation》, 中国银河证券研究院

改性方法 2: 碳复合。一方面可以将硅表面很好地保护起来, 充当硅体积膨胀的缓冲层, 避免硅在充放电体积形变过程中裸露, 新鲜硅表面与电解液直接接触, 反复生成 SEI 膜; 另一方面可以增加颗粒的导电性, 减少电极的电荷转移阻抗。

硅基复合负极材料通根据硅的分布方式不同可分为包覆结构、负载-分散结构, 在合成工艺上不尽相同。

表 18: 硅基复合负极材料的复合结构

结构	示意图	工艺	特点
包覆性结构	<p>核壳结构</p> <p>蛋黄结构</p>	连续碳层将硅颗粒完整包覆	导电性能提高 缓冲硅基膨胀 减少电解液接触 空腔对膨胀容忍度提高
负载-分散结构		硅碳材料进行简单的物理混合	碳材料形成导电网络 缓冲硅基膨胀 硅含量低, 比容量低

资料来源: Liu, N. et al. 《A pomegranate-inspired nanoscale design for large-volume-change lithium battery anodes》, 王磊《锂离子电池硅基负极的制备及性能研究》, 中国银河证券研究院

硅基复合负极材料相比石墨负极工艺复杂, 技术路线仍在探索, 且各家工艺均不同。目前常用碳复合工艺如机械球磨法、化学气相沉积法等, 通常为多种手段组合。

表 19: 常见硅碳负极制备方法

制备方法	工艺	优点	缺点
化学气相沉积法	以硅单质和含硅化合物为硅源, 碳或者有机物为碳源; 以其中一种组分为基体, 将另一组分均匀沉积在基体表面得到复合材料	1) 硅碳两组分间连接紧密、结合力强, 充放电过程中活性物质不易脱落, 循环稳定性好, 首次充放电效率高; 2) 碳层均匀稳定、不易出现团聚现象; 3) 复合材料杂质少, 反应过程环境友好, 设备简单适合工业化生产	总比容量较低, 设备复杂, 成本较高 需要与其他方法组合使用
机械球磨法	1) 制硅粉: 球磨制备纳米级硅粉; 2) 粉末混合: 采用固态混料法, 将纳米级硅粉和镍银合金颗粒互混; 3) 制碳包覆层: 采用液相包覆, 在纳米硅粉与镍银合金的表面形成无定型碳包覆层; 4) 烧结: 包覆料在惰性气体保护炉中进行高温烧结; 5) 制硅碳材料: 采用机械球磨法制备合适粒度的硅碳材料;	1) 明显降低反应活化能; 2) 提高材料电学、热学性能可调; 3) 粒径分布, 粒度小, 分布均匀; 4) 工艺简单, 成本低、适合工业化生产	1) 需要根据硅与石墨的亲性和性选择合适的研磨条件; 2) 产生较多微晶颗粒, 易引发副反应; 3) 颗粒的团聚现象未妥善解决; 4) 大多数制备过程还要联合高温热解

6) 制硅碳负极材料：将硅碳材料与商用石墨混合

溶胶-凝胶法	1) 将有机溶液或者无机溶液制备乳液；2) 然后再与纳米硅和碳源固体颗粒均匀混合；3) 通过高温煅烧凝胶制备硅碳材料	1) 液态复合分散性好； 2) 较高的可逆比容量； 3) 循环性能好	1) 碳凝胶稳定性差，负极结构容易破裂；2) 若凝胶中氧含量过高会生成较多不导电的 SiO ₂ ，负极材料循环性能降低；3) 产品易发生团聚
高温热解法	将原料置于惰性气氛下高温裂解	1) 工艺简单，目前最常用，易产业化；2) 有机物经裂解得到无定型碳的空隙结构比较发达，能更好的缓解硅在充放电过程中的体积变化；3) 产品一致性较好	1) 硅的分散性较差，包覆一致性不高 2) 易发生团聚
水热合成法	1) 小分子有机物为碳源，将其与硅粉在溶液中超声分散均匀；2) 在密封的高压反应釜中进行水热反应；3) 在高温下碳化即制得硅/碳复合材料	1) 操作简便； 2) 产物纯度高，分散性好、粒度易控制	耗能高，产量低，不适合批量生产
静电纺丝法	聚合物溶液(或熔体)在高压静电电场的作用下形成纤维	1) 低成本，工艺简单； 2) 可以制得直径为几十到几百纳米、比表面积大的纤维	能耗较高

资料来源：安富强《纯电动车用锂离子电池发展现状与研究进展》，中国粉末网，中国银河证券研究院

国轩高科 (002074.SZ) 使用高温热解-机械球磨法，在硅粉及合金颗粒混合后使用液相包覆以在混合物上形成碳包覆层，再以高温烧结的方法固化材料，最后进行机械球磨，过程简单，循环性能提升。

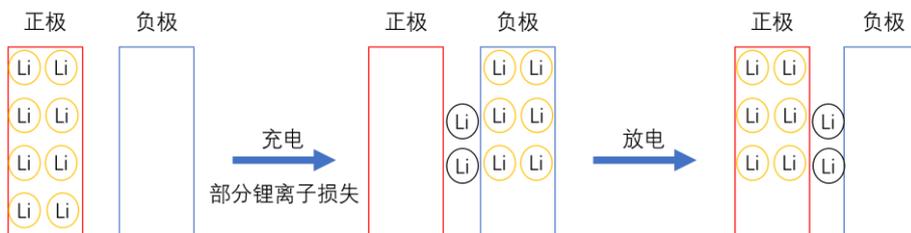
杉杉股份 (600884.SH) 主要改良了化学气相沉积法，可以通过调控还原剂的添加量来控制氧化亚硅还原程度，提高了氧化亚硅材料首次效率。

璞泰来 (603659.SH) 改进了机械球磨-高温热解方法，将纳米硅混合进沥青混合液中，再进行球磨和高温分界，使沥青裂解，工艺成本更低。

中汽瑞华新能源改进了水热合成法，在混合纳米硅颗粒和碳源的溶液中加入石墨和其他导电剂，用于包裹纳米硅颗粒，可以避免硅与电解液发生副反应，提高循环性能。

改性方法 3：预锂化。在锂离子电池首次充电过程中，有机电解液会在石墨等负极表面还原分解，形成固体电解质相界面 (SEI) 膜，永久地消耗大量来自正极的锂，造成首次循环的库仑效率 (ICE) 偏低，降低了电池容量和能量密度。硅基负极由于膨胀问题，会产生体积更大的 SEI 膜，为解决这个问题，“预锂化”技术 (也称“补锂”技术) 应运而生。

图 49：锂电池的首效问题



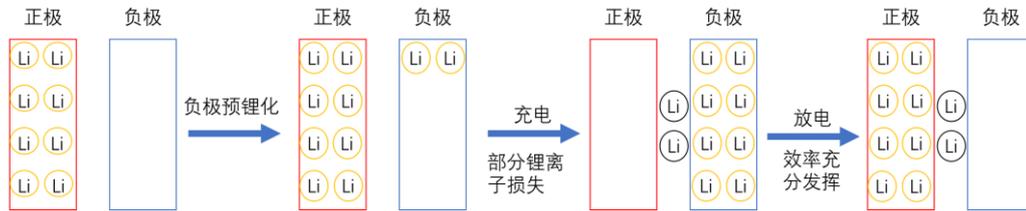
资料来源：中国银河证券研究院

预锂化是在锂离子电池工作之前向电极内部增加锂来补充锂离子。通过预锂化对电极材料进行补锂，抵消形成 SEI 膜造成的不可逆锂损耗，以提高电池的总容量和能量密度。预锂化技术包括负极补锂和正极补锂。

负极补锂——目前主要的补锂剂类型，技术成熟度高。负极补锂主要采用金属 Li 粉、Li 箔补锂、硅化锂粉补锂等方式。宁德时代在 2016 年申请的两项专利分别在负极表面通过静电

控制的方式喷洒 Li 粉和在负极表面覆盖一层薄 Li 箔的方式进行补锂。

图 50: 负极补锂示意图



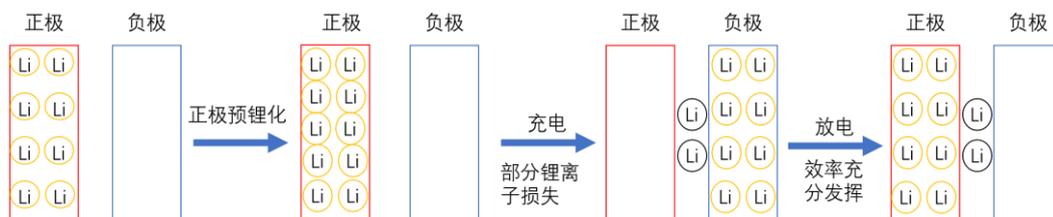
资料来源: 中国银河证券研究院

金属锂补锂的优点是补锂效率高, 反应后无残留, 但是金属 Li 的活性很高, 对环境控制要求高, 并且需要采用大型设备, 成本投入也比较大, 对现有生产工艺影响较大。同时也存在较大的安全风险, 特别是金属 Li 粉, 悬浮的空气中可能会引起粉尘爆炸等风险。

硅化锂粉补锂是非常适合硅碳负极的一种补锂剂, 通过加入已经合金化膨胀的含锂硅粉进行预锂化, 提高首次效率的同时使负极在初始时处于膨胀状态, 可以缓解材料的挤压破碎。

正极补锂——安全、便利, 但产业化处于初级阶段。相比于负极补锂, 正极补锂工艺最大的优势在于安全性和便利性, 可应用于各种体系的锂离子电池正极材料, 不改变现有的生产工艺, 不需要引入新设备, 仅仅是在匀浆过程中在正极浆料中加入部分高容量的含 Li 氧化物 (即补锂剂), 如 Li_2NiO_2 (LNO)、 Li_5FeO_4 (LFO)、 Li_2O , 对于电池厂商而言是十分理想的技术路线。

图 51: 正极补锂示意图



资料来源: 中国银河证券研究院

目前预锂化开始进入正极补锂阶段, 大量公司投入研发, 先驱公司已经开始或即将开始产业化进程。

表 20: 国内厂商的补锂剂进展

产业化	研一新材料	2021 年 3 月, 年产 2000 吨 LNO 顺利实现批量销售。预计二期 4 万平方米新基地将于 2022 年投产, 年产能将达到 8000 吨。2021 年 12 月, 具有更高容量的富锂铁酸锂 (LFO) 正极补锂添加剂也成功量产。搭配磷酸铁锂体系补锂, 可实现大幅提升其能量密度。该产品容量提升 150%, 同比循环提升 30% 以上, 且成本降低 20% 以上。目前已通过国内外多家头部客户测评。公司已具备年产 1800 吨产能, 二期扩产已进入产线设计, 预计 2022 年 7 月投产, 将新增产能 7000 吨/年。
建设中	德方纳米 石大胜华	2021 年 9 月, 公司拟在曲靖经济技术开发区建设“年产 2.5 万吨补锂剂项目”, 项目总投资约 35 亿元。该补锂剂已通过下游客户的小批量验证, 进入产业化阶段。 2022 年 2 月, 公司全资子公司胜华新能源科技 (东营) 有限公司拟投资建设 2 万吨/年正极补锂剂项目, 项目预计总投资 9.35 亿元。
布局专利	宁德时代、亿纬锂能、杉杉科技、欣旺达、华为、珠海冠宇、比克动力、安普瑞斯等	

资料来源: 各公司官网, 各公司公告, 中国银河证券研究院

4、产业化布局提速

硅负极未来的竞争格局或将相对有序。目前跨界布局硅负极的企业相对较少，考虑到硅负极较高的量产难度，加之需要和客户使用的电解液、正极、粘结剂等进行产业链配套，客户粘性更高。相较石墨负极，硅负极将继续保持相对较高的进入壁垒，未来竞争格局或相对有序。

目前各大负极材料厂商均有所布局。日本信越化学、韩国大洲以及杉杉股份、贝特瑞等企业目前均有可以量产硅负极产品，在电动工具等领域已经得到了部分应用。目前，以贝特瑞、江西紫宸、杉杉股份为代表的国内企业已经拥有较成熟产品，能解决膨胀和首效问题，并拥有明显优于石墨负极的能量密度。

表 21：布局硅负极的重点公司梳理

类型	公司	公开进展情况
石墨类负极企业	璞泰来	目前以软包方形电池应用为主，有一定数量的中试品在客户端应用。随着产业链的配套，低膨胀的粘结剂、改善首效率的添加剂等推出，会加大硅碳和硅氧材料在方形电池的应用。已具备中试规模的硅碳和硅氧能力，根据市场需要会加大规模。
	杉杉股份	掌握了硅基负极材料前驱体批量化合核心合成技术，搭载该技术所合成的材料已经通过下游核心客户测试，且突破了预锂化材料嵌入均匀性技术瓶颈。硅基负极材料已通过了全球优质动力客户和全球头部电动工具客户的产品认证。2021 年设于包头青山的行业尖端高首效硅氧负极材料量产线落地；宁波 4 万吨硅基负极项目预计于 2022 年底开工建设。
	贝特瑞	在硅碳复合负极材料方面具备先发优势，2013 年就通过了韩国三星电子的认证，开始量产供货。目前已经进入了松下-特斯拉的供应链，实现大批量供货。硅碳负极比容量可达 1500mAh/g，硅氧负极材料比容量可达到 1600mAh/g 以上。
	翔丰华	硅碳负极材料产品处于中试阶段，已具备产业化条件。后续若有市场需求，将会根据客户需求进行相应匹配批量生产。
科研院所创始团队	天目先导	核心技术源于中国科学院物理所，目前已进入全面量产阶段，纳米硅碳负极材料年产能达 8000 吨，能够满足能量密度高于 300Wh/kg 及 700Wh/L 的高性能锂离子电池的需求。产品应用于电动汽车、消费电子、电动工具、规模储能、航空航天、国家安全等众多领域。
电池企业	宁德时代	研发 SiOC 复合材料技术并取得专利，表现出高容量、长循环、低膨胀等优良特性，使得负极片/电池兼具良好的循环性能、低内阻以及良好的稳定性和安全性等品质，25°C 循环 400 圈后的体积膨胀率不高于 8%，容量保持率不低于 87%，目前还未进入量产阶段。规划将在第二代 NCM811 高镍电池中加入硅碳负极，制造能量密度高于 300Wh/kg 的高镍电池产品
	国轩高科	硅基负极材料项目推进顺利，目前已具备 5000 吨硅碳负极材料的生产能力。在磷酸铁锂化学体系中首次成功应用了硅负极材料，能量密度高达 210Wh/kg。
	星恒电源	与天目湖先进储能技术研究院有限公司（TIES）共同创立“双子星联合实验室”，在现有锰酸锂材料与电池技术的基础上，逐步导入包含纳米硅碳负极在内的新技术。
化工、硅材料企业	硅宝科技	“高比容量锂离子电池硅/碳复合负极材料”项目通过四川省经济和信息化厅组织的成果鉴定为国际先进水平。目前建成产能 50 吨/年的硅碳负极材料中试生产线，产品已通过数家电池厂商测评并实现小批量供货，产业化生产线正在建设中。
	新安股份	与上海大学（浙江嘉兴）新兴产业研究院合作的硅碳负极材料项目，已于 2021 年底完成中试项目建设，目前处于中试阶段，产品正在送样下游客户进行应用测试。
	石大胜华	拥有 1000 吨/年硅碳负极材料项目，于 2021 年 11 月竣工投产，技术来自美国 HICO 公司。另计划投资拥有 3 万吨/年的硅基负极项目，计划于 2024 年 4 月投产。硅碳负极存在适配高电压电解液的需求，且需添加特种添加剂，公司持续进行硅碳负极材料以及添加剂的研发，目前已经进行客户送样测试工作。公司表示潜在客户有宁德时代、ATL、三星、LG 等，4680 厂家会作为重中之重。公司已实现高、中、低端硅碳负极材料全面布局，硅碳负极技术相对处于较高水平。

资料来源：各公司公告，高工锂电，中国银河证券研究院

贝特瑞（835185.BJ），负极材料龙头，引领国内硅基负极发展。公司主营负极材料和正极材料，硅基负极材料出货量国内领先。公司硅基负极材料不断升级迭代。公司已经突破至第三代产品，比容量从第一代的 650mAh/g 提升至第三代的 1500mAh/g，且正在开发更高容量的第四代硅碳负极材料产品。氧化亚硅负极材料方面，目前公司已完成多款产品的技术开发和量产工作，部分产品的比容量达到 1600mAh/g 以上。

杉杉股份（600884.SH）掌握了硅基负极材料前驱体批量化合核心合成技术，搭载该技术

所合成的材料已经通过下游核心客户测试。硅氧和硅碳两条路线并重，第二代硅氧产品已批量出货，正在进行第三代硅氧产品和新一代硅碳产品的研发。2021 年公司设于包头青山的高首效硅氧负极材料量产线落地，有效提升锂电负极材料比容量和附加值。2022 年底，宁波 4 万吨硅基负极项目预计开工建设，项目建成后将进一步强化硅基负极材料一体化产能规模优势。

璞泰来 (603659.SH)，负极材料龙头，以软包电池和方形电池应用为主，有一定数量的中试品在客户端应用。随着产业链的配套，例如低膨胀的粘结剂、改善首效率的添加剂等的推出，公司将加大硅碳和硅氧材料在方形电池的应用。已经具备中试规模的硅碳和硅氧能力，根据市场需要会加大规模。

石大胜华 (603026.SH)，电解液龙头企业，公司拥有 1000 吨/年硅碳负极材料项目（投资 6194.96 万元），于 2021 年 11 月竣工投产；计划投资 11 亿元建设 3 万吨/年的硅基负极项目，地点位于四川眉山高新技术产业园区，于 2024 年 4 月投产，投资回收期 6.6 年；将投产配套的正极补锂剂和新型导电剂项目。公司的硅基负极材料产品包括了普通型 SiO_x-C 负极以及高首效型 SiO_x-C 负极，首次效率和能量效率均能达到行业一流水平。

（三）其他材料未来趋势

表 22：4680 电池材料用量变化

材料	主要变化
导电剂	普通高镍添加 1% 多壁碳纳米管 硅碳高镍添加 0.5% 炭黑和 0.05% 单壁碳纳米管
粘接剂	正极粘接剂：PVDF 用量提升 300% 负极粘接剂：石墨体系使用分 CMC 和 SBR，换成硅极后使用改进的 SBR
LIFSI 电解液	5 系是 0.5-1%，8 系是 1-2%，9 系是 2.5%。如果使用硅碳的话，使用量应该达到 4-5% 硅碳增加 6% 的使用量
铝箔铜箔	提升至少 5% 以上
隔膜	比 21700 少 5-10%
电池壳	比表面积较小，电池壳材料减少

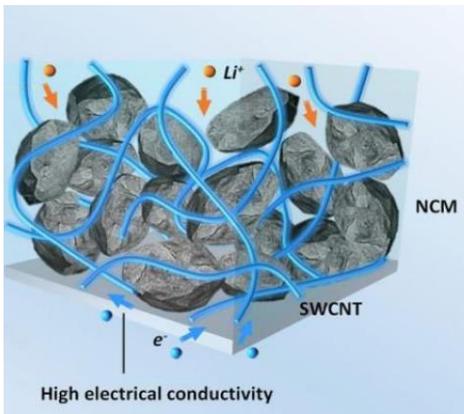
资料来源：亿纬锂能公司公告书，三顺纳米招股说明书，天奈科技招股说明书，中国银河证券研究院

1、导电剂单壁碳管

碳纳米管（CNT）是石墨烯层围绕中心轴按一定的螺旋角卷曲而成的无缝纳米级管状结构。由于硅负极导电性弱于石墨负极，常规导电剂炭黑无法完全满足硅碳负极性能要求，而以**碳纳米管**为代表的新型导电剂拥有更为优异的导电性能，可以部分缓解硅材料在充放电过程中的结构坍塌，**是更为适配硅基负极的导电剂材料。**

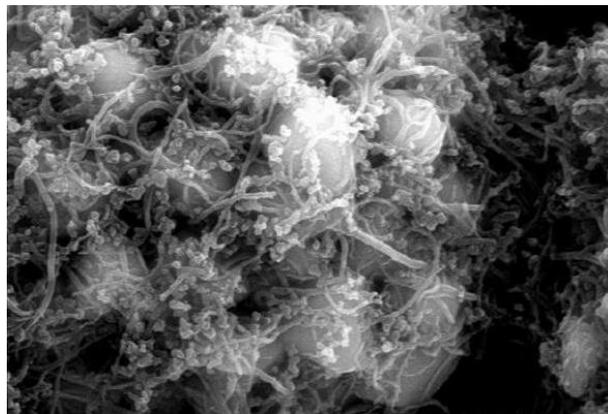
由于碳纳米管形貌为一维管状结构，长径比和比表面积大，作为导电剂，可以与活性物质形成线接触并能固定电极材料，**导电性能更优，且能有效提升锂电池倍率性能。**碳纳米管用量少，仅为传统导电剂的 1/6 到 1/2，可以达到同样的导电效果。它还有**具有优异的导热性能**，能够将电池中的热量较好传导出来，提升电池的高温性能。目前碳纳米管占整车成本仅约 0.8%，相对于其可提升的综合性能，**实用价值大，且存在涨价逻辑。**

图 52: 碳纳米管在电极材料中形成导电导热网络示意图



资料来源: 未来智库, 中国银河证券研究院

图 53: 碳纳米管在电极材料中形成导电网络实际图像

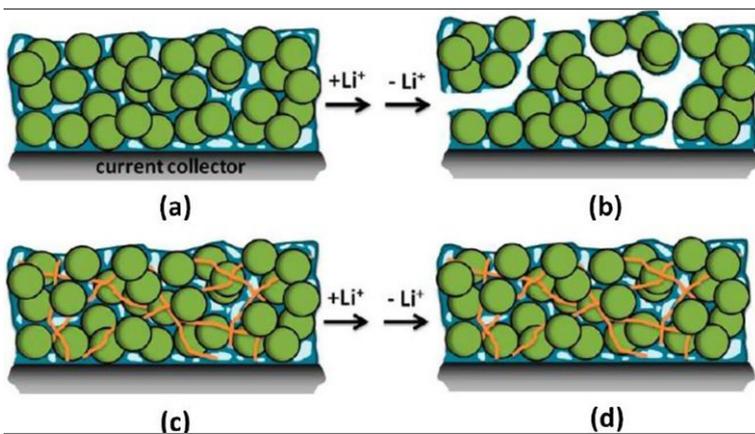


资料来源: 未来智库, 中国银河证券研究院

缓解硅负极膨胀问题, 改善循环性能。碳纳米管具有很好的机械拉伸强度, 使得硅颗粒之间的连接非常紧密、牢固, 即使发生硅负极颗粒体积膨胀并开始分裂, 这些颗粒仍可通过单壁碳纳米管的“绑定”保持良好连接。

减少电解液损耗, 提升寿命性能。碳纳米管作为空心管状结构, 能够提升极片的吸液性, 从而降低电池使用过程中的电解液损耗, 从而提升其寿命性能。

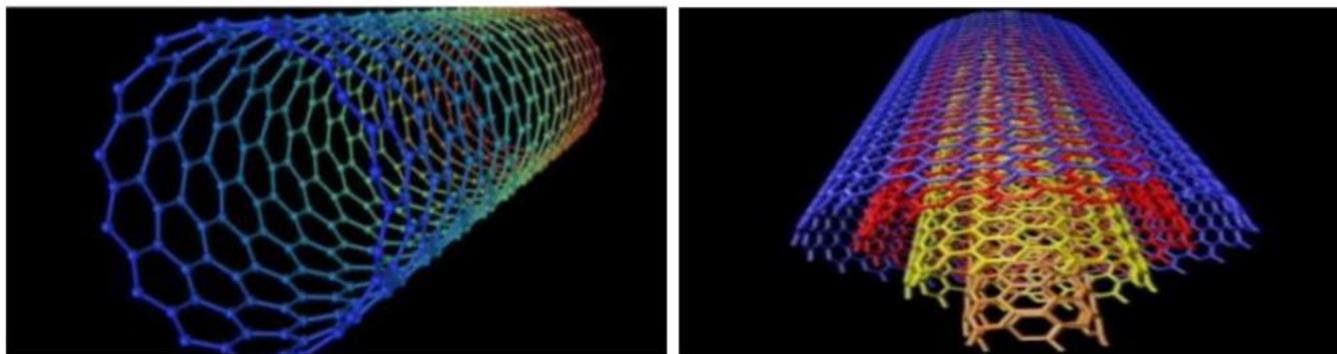
图 54: 碳纳米管使硅负极在涨缩后免于破碎分离



资料来源: 《碳纳米管用作锂离子电池负极材料的研究》, 中国银河证券研究院

根据石墨片层的多少, 碳纳米管可分为单壁碳纳米管和多壁碳纳米管。单壁碳纳米管 (SWCNT) 管壁由一层碳原子组成, 多壁碳纳米管 (MWCNT) 由几个或几十个单壁碳纳米管同轴构成。

图 55: 单壁碳纳米管与双臂碳纳米管结构图



资料来源: 天奈科技招股书, 中国银河证券研究院

单壁碳纳米管性能更优。目前市场上的碳纳米管以多壁碳纳米管居多, 而单壁碳纳米管的直径更小、长径比更大、热稳定性更高(高达 1600°C), 添加后使得极片具有更好的柔韧性和机械稳定性, 在反复脱嵌锂膨胀过程中保持良好的导电网络, 对电池循环性及容量的提升更为明显, 并且具有更低的阻抗, 表现出优异的倍率性能。单壁碳纳米管用量更少, 能够进一步降低锂电池中导电剂的含量, 从而降低成本。

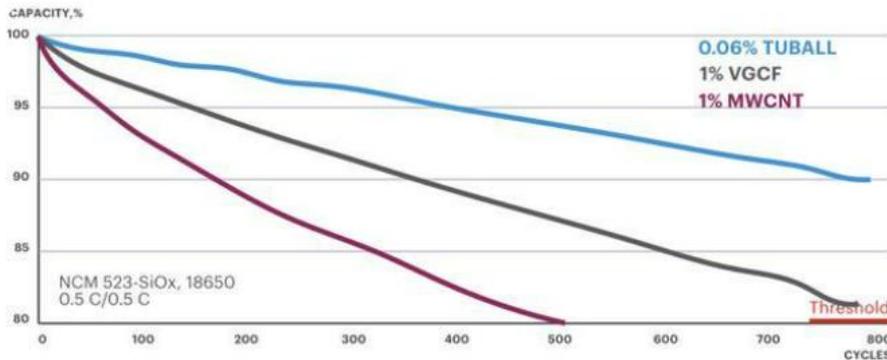
单壁碳纳米管与硅负极的适配度更高。凭借高电导、高柔韧比和高长径比, 单壁碳纳米管可以更好地抑制硅的膨胀。根据 OCSiAl (海外单壁碳纳米管专业生产商) 官网数据, 添加其旗下产品 TUBALL (商标名称) 单壁碳纳米管 0.04% 在硅基负极电池配方中, 电池循环寿命可提升 4 倍, 助力硅负极电池实现 350Wh/kg 的能量密度, 续航里程提升 15% 以上, 同时满足电极快充快放。目前公司单壁碳纳米管产品尚处于中试阶段, 预计有望于 2023 年实现量产。

表 23: TUBALL 单壁碳纳米管在电池正负极应用的效果

	实现更高能量密度	低于 0.1% 的 TUBALL 单壁碳纳米管添加量即可提供更高的能量密度, 比作为导电添加剂的多壁碳纳米管或炭黑添加量低 10-60 倍。在电池包中, 仅 100g 的 TUBALL 单壁碳纳米管就可代替 5kg 的导电炭黑
正极	安全性能提升	可降低电池内阻, 在多个电池充放电循环和电池存储周期之后仍可保持稳定的 TUBALL 单壁碳纳米管网络, 从而使高温存储和循环后内阻也保持在较低水平。电池内阻越低, 积聚的温度就越低, 电池着火的风险就越小
	提高放电倍率	与其他导电助剂相比, 单壁碳纳米管具有优异的导电性, 可以同时实现快速放电和高电池容量
	提升极片附着力	单壁碳纳米管网络将正极材料颗粒连在一起, 从而提高了颗粒之间的连接强度, 提高极片附着力
	提高负极中的 SiOX 含量	添加单壁碳纳米管后可以将负极中的 SiOX 含量提高到 90%
负极	提高能量密度	使用 TUBALL 单壁碳纳米管的硅负极, 能量密度可提高至 350Wh/kg
	实现快充性能	可提高硅含量, 实现高达 4C 的充电
	提高循环寿命	添加 TUBALL 单壁碳纳米管的硅基负极的锂离子电池在 1500 次循环后, 仍可保持 80% 以上的容量

资料来源: 高工锂电, OCSiAl 官网, 中国银河证券研究院

图 56: 单壁碳纳米管在多次循环中容量损失更少



资料来源: OCSiAl 官网, 中国银河证券研究院 (VGCF 为碳纤维)

目前单壁碳纳米管只用于少数高端产品。随着技术成熟度上升、成本下降, 单壁碳纳米管有望加速渗透。预计 2025 年全球电池装机量达到 2500GWh, 硅基负极在三元电池中的渗透率为 25%, SiOx 含量约 10%-20%, 与之配套的单壁碳纳米管的添加量约 0.1%-0.15%, 当销售价格达到 1000-1300 万/吨时, 推算出单壁碳纳米管的市场空间可达 16-30 亿元。

OCSiAl 引领单壁碳纳米管全球发展。OCSiAl (奥科希艾尔) 是一家专注于单壁碳纳米管生产的俄罗斯企业, 占据全球 95% 的单壁碳纳米管市场。公司研发的 TUBALL 单壁碳纳米管的突出优势是极致纤细 (管径 1.6nm, 管长 >5um), 具有极高的长径比, 可达 3000, 比表面积高可达到 900cm²/g。TUBALL 的 G/D 达到市面产品中最高的 90, 这意味着其导电性能非常优秀。公司 2021 年产能达到 80 吨/年, 可以满足 100GWh 以上的锂离子电池的导电剂需求。OCSiAl 在中国有两家授权的合作伙, 实现了本地化生产 TUBALL BATT 分散液, 并通过了多家知名电池企业的品质审核。

国内企业也在积极研发单壁碳纳米管, 天奈科技 (688116.SH) 作为碳纳米管材料龙头, 拥有多壁碳纳米管、单壁纳米碳管制备的国际专利, 是全球一系列碳纳米管材料标准的制定者。公司掌握的纳米聚团流化床宏量制备碳纳米管技术居于国际领先水平, 它解决了碳纳米管无法连续化宏量制备生成的难题。公司也是最早成功将碳纳米管通过浆料形式导入锂电池的企业之一, 推动了碳纳米管在锂电池领域的广泛应用。同时, 公司掌握的碳纳米管催化剂制备技术, 对未来产品的升级以及顺利投产和量产打下了坚实的基础。

表 24: 天奈科技产品发展

粉体类型	配套	量产时间	所处阶段	关键技术
第一代 (多壁)	磷酸铁锂正极	2011 年	大规模	清华大学独占授权: 纳米聚团流化床宏量制备碳纳米管技术
第二代 (多壁)	三元正极	2015 年	大规模	自研: 定向生长流化床宏量制备碳纳米管技术
第三代 (多壁)	811 正极	2018 年	小批量	自研: 尖晶石复合催化剂流化床宏量制备碳纳米管技术
第四代 (单壁)	硅碳负极	预计 2023 年	中试送样	自研: 超长定向碳纳米管阵列的制备, 单/双壁碳纳米管制备工艺及设备研究

资料来源: 公司公告, 中国银河证券研究院

2、新型锂盐 LiFSI

4680 高镍化、高压化对电解液性能要求提升。首先，正极材料中镍含量增加，由于高镍中的 4 价镍离子具有较高的氧化还原电位，会催化电解液氧化分解，影响电池性能。第二，高镍体系电池循环过程中会有锰、钴等过渡金属溶出，会破坏负极表面的 SEI 膜。此外，高镍电池需要添加过充和阻燃等添加剂来提升电池的安全性。

表 25：新型锂盐 LiFSI 与六氟磷酸锂 LiPF₆ 的性能对比

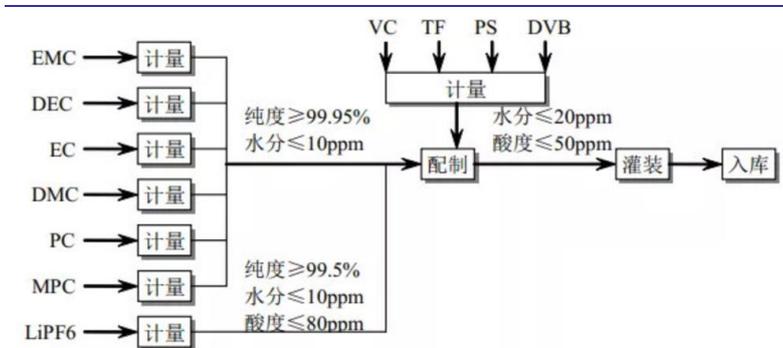
参数指标	六氟磷酸锂 LiPF ₆	新型锂盐 LiFSI	
基础物性	分解温度	>80 °C	>200 °C
	氧化电压	>5V	≤4.5V
	溶解度	易溶	易溶
	电导率	较高 6.8 ms/cm	最高 9.8 ms/cm
	化学稳定性	差	较稳定
电池性能	热稳定性	差	较好
	低温性能	一般	好
	循环寿命	一般	高
	耐高温性能	差	好
工艺成本	合成工艺	简单	复杂
	成本	低	高

资料来源：沈丽明《几种有前景锂盐在锂离子电池中的研究进展》，中国银河证券研究院

LiFSI 具有更好的电化学性能：1) LiFSI 具有更高的热稳定性，其熔点可达 145°C，分解温度高于 200°C。可耐受更高的工作温度，抑制气胀；2) LiFSI 电导率高，可达 9.8ms/cm (LiPF₆ 仅 6.8ms/cm)，有助于降低电池内阻、减少发热、提升效率和安全性；3) LiFSI 与 SEI 膜有很好的相容性，只会在 160°C 时与其部分成分发生置换反应，对于正负极的化学稳定性高。

LiFSI 作为添加剂用量提高。LiFSI 主要应用于三元电池中，可以作为电解液的主电解质直接替代 LiPF₆，或者作为传统电解质 LiPF₆ 的添加剂使用。目前 LiFSI 尚未作为主电解质使用，而是作为添加剂与 LiPF₆ 混用，用于三元动力电池电解液之中以改善性能。高镍三元正极材料以及快充技术的应用带来了对于 LiFSI 的更大需求。根据多氟多公开资料，以 4680 电池为例，其中 LiFSI 的添加量或将是普通三元电池的五倍，从 3% 提高到 15%。

图 57：电解液制作方法



资料来源：天赐材料招股说明书，中国银河证券研究院

锂盐作为电解液的核心，决定着电池各项性能。LiFSI 具有高离子电导率、高电化学稳定性、热稳定性高等优点，适用于高能量密度和宽工作温度窗口的电池，未来有望取代

LiPF6 成为下一代电解液锂盐。但目前而言，LiFSI 的制备成本太高，且用量的增加会对铝集流体有腐蚀作用，相较使用 LiPF6，需要大幅增加 VC 等成膜添加剂以及草酸硼酸盐 LiBOB/LiODFB 等集流体保护剂的用量比例。

LiFSI 的纯度对产品性能影响较大，**电池级 LiFSI 生产工艺难度较高。**目前 LiFSI 的合成主要采用氯磺酸法，中间产物双氟磺酰亚胺 HCISI 的收率（主产物占有所有产物的比例大小）对产品品质的把控至关重要。由于 HCISI 的合成对于温度敏感度高，可以通过精准的温度调节来提高其总产率。降低成本的主要方法来自对于副产物的回收和综合利用。国内多家电解液企业已经深耕多年，积累了大量先进技术储备，共同推动 LiFSI 的价格从 2017 年的 70 万元/吨下降至 2021 年的 40 万元/吨。**技术门槛也导致新进入者难以参与竞争。**

图 58：氯化亚砷-氯磺酸法制备 LiFSI 工艺流程



资料来源：石家庄康坦福化工科技有限公司专利 CN202111680454.4，中国银河证券研究院

龙头企业把握核心工艺，专利布局提高行业门槛。纯度控制以及对敏感中间物的温度把控决定了合成 LiFSI 较高的技术壁垒。目前只有一线电池企业、电解液龙头企业拥有 LiFSI 作为添加剂和锂盐的多种配方，而二线企业大多仅有作为添加剂的配方。国内电解液厂商有能力布局并着手生产的包括天赐材料、多氟多、新宙邦、永太科技等。而宁德时代、比亚迪、LG、三星、松下等电池龙头企业的专利数量遥遥领先。

表 26：龙头企业布局新型锂盐 LiFSI 情况

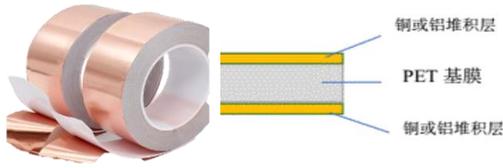
所属环节	企业	作锂盐	作添加剂	参考专利
电池	宁德时代	√	√	CN108933294B
	比亚迪	√	√	CN107887645B
	国轩高科	√	√	CN107293790B
	亿纬锂能		√	CN107706455A
	LG	√	√	CN104781975B
	松下	√		CN110495043A
电解液及其他中游材料	天赐材料	√	√	CN107887647A
	新宙邦	√	√	CN105140566A
	杉杉股份	√	√	CN105552439A
	国泰华荣	√	√	CN103682442A
	永太科技	√	√	CN107055493B

资料来源：各公司公告，中国银河证券研究院

3、复合铜箔 PET

复合铜箔是以 PET 或 PP 作为导电薄膜、两边以铜箔（或铝箔）为镀层的夹层状动力电池集流体材料，表现出部分“去金属”化，**具有安全性高、能量密度高、寿命长的优势。**

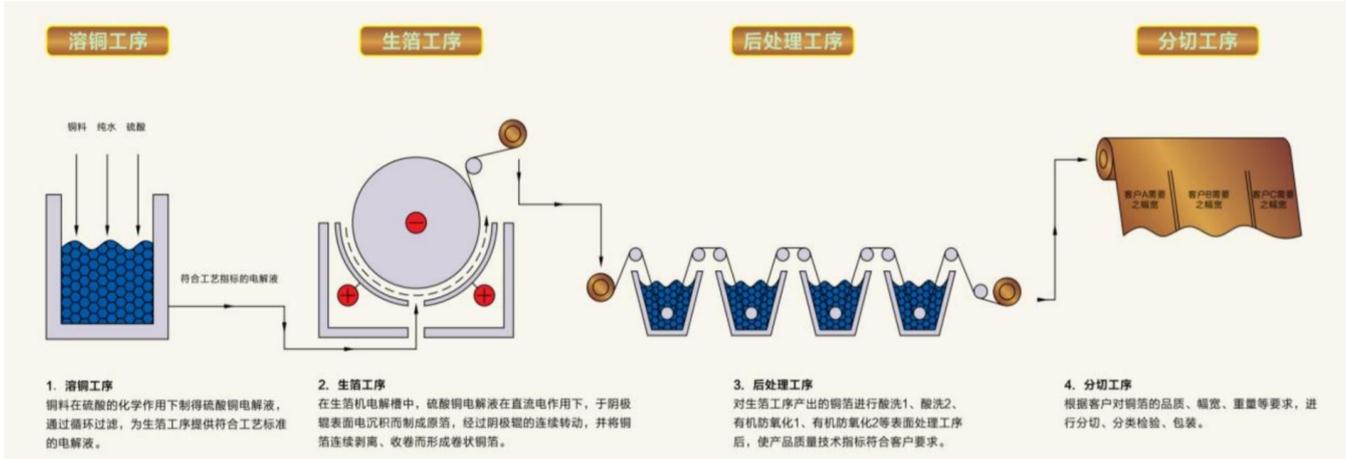
表 27: 传统铜箔和 PET 铜箔性能对比

	传统铜箔	PET 铜箔
组成	99.5%的纯铜	PET 或 PP 两侧沉积铜或铝
产品图		
重量	纯铜密度高、单位面积重量大，目前趋势为做薄降低重量。	高分子有机材料密度低，有效降低负极集流体的重量。另外，PET 技术可以提升 5%-10% 的电芯能量密度，实现高比容。
安全性	金属受到应力之后很容易断裂，断裂之后容易刺穿隔膜。造成内短路引发热失控。	PET 不容易断裂，断裂之后也不容易刺穿 PET 膜。在过充以及短路引起的温度升高时，绝缘层熔断，电流迅速降低，抑制焦耳热产生，有效降低电池局部温度暴增。
成本	铜材使用量高，占原材料成本约 70-80%。	铜材使用量少，占原材料成本 40-50%。工艺更复杂，加工成本较传统铜箔高。制作电池需要增加转接焊等新工序，增加了制造成本。目前成本较传统铜箔高约 10%，随着技术进步以及规模化应用，成本下降空间较大。
寿命	-	PET 表面更为均匀，金属结晶体更容易热胀冷缩，高分子材料的膨胀率更低，更容易空置，保持表面完整性。

资料来源：重庆金美新材料环评报告，中国银河证券研究院

传统铜箔的生产制备主要采用电解法，设备简单、成本较低。复合铜箔制备工艺更为复杂，蒸镀是核心工序，其次为水电镀。制作流程：首先在厚度 3.5~6 μ m PET 薄膜表面，采用磁控溅射或真空蒸镀的方式，在两面制作 20-80nm 的金属层，然后通过水电镀的方式，将金属层加厚到 1 μ m。根据东威科技公开资料，一般生产 1GWh 电池需要 2 台真空镀设备和 3 台镀膜设备，单台磁控溅射设备价值量为 3000 万，水电镀设备 3750 万，产线投资成本较高。

图 59：传统铜箔生产工艺



资料来源：嘉元科技招股说明书，中国银河证券研究院

图 60：复合铜箔与传统铜箔生产流程对比



资料来源：重庆金美新材料环评报告，中一科技公司公告，中国银河证券研究院

表 28：传统铜箔与复合铜箔生产工艺对比

对比项目	传统铜箔	复合铜箔
工艺流程	溶铜电解+水电镀	真空镀膜+离子置换
镀液成分	成分复杂，涉及多种金属，可能包括氰化物	成分简单，只涉及铜一种金属
基膜	使用铜料，溶铜后生成原箔生产基膜	用 PET/PP 原料膜作为基膜
工序长度	13-15 道	8-10 道
工艺难度	电镀工艺成熟	磁控和蒸镀的工艺复杂
物料传送方式	采用多种金属电镀方式（更容易使镀液滴漏到地面，且与空气接触时间较长）	采用连续离子置换法（操作容易、效率高，与空气接触时间短）
生产环境	前工序在可密闭的电解设备中进行	前工序真空腔体构成了密闭环境

资料来源：重庆金美新材料环评报告，中国银河证券研究院

率先实现极薄化和复合铜箔等高端产品生产的铜箔企业优势更大。以铜价 5.6 万元/吨、加工费 4-5 万元/吨测算，同样生产 6-6.5 μ m 铜箔，采用 3 万元/吨国产 PET 膜制作的复合铜箔大致比传统铜箔的售价可以降低 25-30%（加工费等同），价格优势显著。但是如果铜价下

跌或者 4.5 μ m 传统铜箔实现大规模应用，PET 复合铜箔的成本优势可能会缩小。

目前国内进军复合铜箔领域的企业主要包括 **PET 薄膜材料厂商**（以重庆金美新材料和双星新材为代表）、**传统铜箔龙头企业**（嘉元科技、诺德股份等）以及 **PCB 厂商**（三孚新科等）。PET 基膜作为复合铜箔主要原材料之一，PET 薄膜材料厂商可实现自供，控本优势明显。电镀设备广泛应用于 PCB 行业，PCB 制造厂商积累了丰富的电镀经验，此外由于电镀对环境有一定的污染，PCB 制造企业具备完善的环评资质与产业园。

重庆金美新材料（宁德时代、中国宝安参股投资）是最早开发 PET 铜箔的企业，2015 年便启动了复合集流体项目，2017 年与宁德时代签订独家协议，2022 年已初步实现量产。公司现有产能 400 万平方米/年的复合铝膜和 2400 万平方米/年的复合铜膜。据重庆金美新型铜铝导电膜项目环评报告，綦江区项目总投资 1.5 亿元，一期达产后产能达到 0.48 亿平米复合铝箔与 2.95 亿平米复合铜箔。2021 年 8 月公司扩建的“电子复合铝膜、电子复合铜膜”项目各 6 条生产线，匹配约 6GWh 电池产能，计划于 2022 年引进先进生产设备，优化生产工艺，提高产品产能、产值以及良率，力争在 2022 年实现量产。

双星新材（002585）是全球 BOPET（双向拉伸聚酯薄膜）行业龙头，核心竞争力为切片-基膜-成品膜一体化。PET 铜箔基膜厚 4.5 μ m，与双星原先的拳头产品-信息材料膜产品厚度相似，制程和工艺有共通性。公司主业也用到了拉膜线和磁控溅射装置等设备，后续量产只需要增加水镀产线。公司主业规模足够大，平摊成本优势非常明显，而且具备了一体化成本优势。

表 29：PET 复合铜箔产业链上市公司梳理

上市公司	项目进展	具体情况
宝明科技（002992）	有专利布局，拟投资 60 亿元，在赣州建设锂电池复合铜箔生产基地。目前公司锂电复合铜箔生产良率约 80%。	一期拟投资 11.5 亿元，建设周期 12 个月，产能 1.5-1.8 亿平米锂电复合铜箔（相当于 1 万吨传统铜箔）；二期拟投资 48.5 亿元。
万顺新材（300057）	有机载体膜镀双面铜箔工艺项目	已开发出应用于电池负极的载体铜膜样品，送至下游电池企业验证，正在配合下游需求优化产品工艺。
双星新材（002585）	PET 项目 20 年底立项，21 年研发，22Q1 送检中韩多家厂商，目前已反馈若干轮修改和测试。	目前进展顺利，已送至客户进行评价认证。
诺德股份（600110）	-	与道森股份达成战略合作伙伴关系，共同开展以铜箔设备技术研发、3 μ m 极薄铜箔产品和复合铜箔产品的技术研发、设备技术改造、锂电铜箔设备供销等领域的深度合作。
嘉元科技（688388）	-	尚处于实验攻关、小试验证阶段。
阿石创（300706）	-	研发的复合铜箔（PET、PBN、PP 等基材镀铜膜）技术在生产工艺中可采用两种方式进行：PVD 溅镀后电镀、直接 PVD 蒸镀。
方邦股份（688020）	-	处于早期研发阶段，未进行产品送样认证。

资料来源：各公司公告，中国银河证券研究院

设备厂商方面，**东威科技（688700）**是高端精密电镀设备提供商。2021 年，公司投资 9000 万元用于“水平设备产业化建设项目”，目前已完成水平镀膜设备样机的生产与交付。公司的水平电镀设备在国内属于首创。同时，公司正逐步引进磁控溅射真空镀膜技术，预计 2022 年下半年实现投产。

广东腾胜拥有超过 5 年的复合铜箔真空镀膜设备开发经验，复合铜箔真空镀膜设备最先在国内量产，已应用至动力电池及消费电池产业且互获得客户认可、已应用至重庆金美、日本 TDK 等下游客户。

4、大尺寸钢制电池壳

4680 电池尺寸更大，一般采用高精度、低成本、兼容更高长度的钢质电池壳。制作过程需要克服以下几大难点：1) **尺寸一致性要高**。壳体是精密结构件，对尺寸公差敏感，电池层级需要百分级精度要求；2) **热扩散要求高**。钢材需满足热扩散要求，钢比铝硬度高延展性差，无法直接使用易拉罐的工艺参数制造；3) **电池高度可能会继续增加**。从电池过流和发热来看，电池高度可能会进一步提高，壳体工艺需要兼容长电池壳。

高效生产是卧式冲压切入 4680 电池壳体领域的关键要素。传统机械件制造以立式冲压为主，生产精度更高但是生产节拍较慢，每分钟产出 60 件左右。而卧式冲压通常用来加工精度比较高、尺寸比较薄的易拉罐罐体。卧式冲压与圆柱电池对称性、标准化、低成本的产品需求同源，在圆柱型动力电池领域具有可行性。卧式拉伸配重高，工序动作不需要克服重力做功，因此生产速度快，每分钟可产出 1200 件。此外，卧式冲压自动化程度高，对模具精度要求高。斯莱克、昇兴股份公司基于原有易拉罐业务的技术切入电池结构件产业链，现已均处于打样阶段。

表 30：重点公司工艺比较和技术进展

技术路线	公司	圆柱钢壳
卧式冲压	斯莱克	子公司新乡盛达 4680 钢壳产线的核心主机设备制造即将完成，预计四季度可以实现首条验证线的商业化连续生产
	昇兴股份	4680 开发中
立式冲压	科达利	2170 电池预镀镍工艺，实现批量生产，高精度、高一致性
	震裕科技	主要做 4695，4680 开发中，与宁波精达合作
深拉伸冲压	宁波精达	“一出多”工艺，4680 产线已交付客户

资料来源：各公司官网，中国银河证券研究院

斯莱克 (300382.SZ) 是提供高速易拉罐、盖制造设备的生产商，从事高速易拉盖生产设备及相关精密模具的研发和生产。公司将 DWI 技术应用到锂电池电池壳领域，研发出大批量自动化生产线，生产率高达 1200 只/分钟，远高于行业的 50-150 只/分钟，并且圆柱钢壳一致性更好，材料利用率更高。公司合资子公司新乡盛达圆柱钢壳年产能 30 亿只，主要产品有 1865、2170 圆柱钢壳，客户包括亿纬锂能和力神电池。公司在投资者关系平台上披露其 4680 大圆柱形钢壳产线的核心主机设备制造即将完成，预计三季度会进行整线的安装调试和试生产、四季度可实现首条验证线的商业化连续生产。公司合资子公司安徽斯翔圆柱铝壳建设年产能 3 亿只，处于测试阶段，目标客户为国轩高科、宁德时代等；1.16 亿只常州方形电池壳量产项目正在建设中。

昇兴股份 (002752.SZ) 是我国包装领军企业，主要产品包括三片罐、二片罐以及铝瓶。公司制罐技术行业领先，4680 电池壳与罐体形状相似。公司通过现有设备改进制造 4680 电池壳，跨界进入锂电行业，打开第二增长极。

科达利 (002850.SZ) 是全球动力电池结构件龙头，产品主要由锂电池精密结构件和汽车结构件两类构成，具有先进的冲压加工技术和精密冲压配套设备，是国内最早从事动力锂电池精密结构件生产的企业之一。公司电池结构件业务与宁德时代、比亚迪、力神、亿纬锂能、中航锂电等强势动力电池企业均建立深度合作关系，并尝试与 LG、松下、Northvolt 等海外电池厂商合作。

三、4680 提升工艺要求

(一) 4680 电池结构及流程工艺

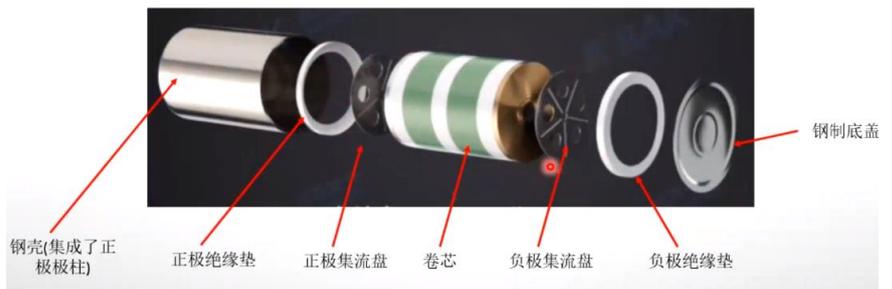
4680 大圆柱电池从内到外的主要结构依次是极柱、卷芯、正负极集流盘、钢壳等。

图 61：特斯拉 4680 第一代电池结构



资料来源：Tesla, 绿芯频道, 中国银河证券研究院

图 62：比克 4680 电池结构



资料来源：中国新能源车网, 比克电池官网, 中国银河证券研究院

不同企业或同一企业不同批次、不同工厂设计的 4680 电池结构也存在个别零部件差异。

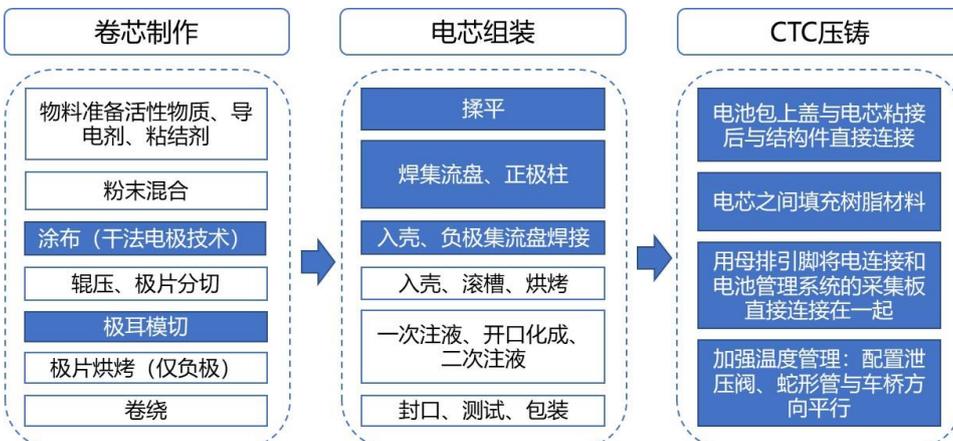
表 31：特斯拉及比克电池主要结构对比

组成	特斯拉第一代 4680	特斯拉第二代 4680	比克电池
卷芯	均为正负极片及中间两层隔膜卷绕而成，两端由全极耳导电		
正极集流盘	均有，与正极极片的极耳焊接		
负极集流盘	有，与负极极片的极耳焊接	取消，负极极耳直接与底盖焊接	有，与负极极片的极耳焊接
正极绝缘垫	均有，用于隔开带负电的钢壳和带正电的正极集流盘		
负极绝缘垫	无	无	有，更加安全
极柱	有，与正极集流盘焊接，带正电	有，与正极集流盘焊接，带正电	有，安装在钢壳外侧，与钢壳绝缘，带正电
钢壳	有，与底盖联接，带负电		

资料来源：Tesla, 比克电池官网, 清研华科研究院, 中国银河证券研究院

大圆柱生产流程主要包括卷芯制造、电芯组装，以及搭载了 CTC 压铸创新一体化生产。其中，大尺寸电芯+全极耳+干电池涂布+钢质外壳是核心。由于一些结构的变化（比如全极耳），与传统圆柱对比，涂布、极耳模切、焊接等环节采用了较为明显的差异化方案。

图 63：4680 大圆柱电池生产流程



资料来源：比克电池, Tesla, 海基新能专利《一种全极耳卷绕圆柱锂离子电池装配方法》，中国银河证券研究院

生产流程的变化对于产线设备、加工工艺提出了更高的要求。

表 32：4680 新技术方案带来的工艺变革

4680 新结构	具体变化	涉及工艺环节	新工艺要求或工艺方案差异点
全极耳技术	减少发热，取消双极耳	极耳分切、揉平、极片卷绕	全极耳碎边切割时会产生金属碎屑，有短路风险；全极耳端面要与集流盘焊接，因此端面平整度更高，这对极耳分切、揉平、极片卷绕工艺提出了更高要求。
	焊点更多	激光焊接	全极耳与集流盘或壳体连接中，从传统两个极耳的点焊到全极耳面焊，焊接工序和焊接量都有所增加；焊缝更细，激光强度和焦距不容易控制，易焊穿烧到电芯内部或者没有焊到。
干电极涂布（特斯拉）	涂布留白更精确	涂布	全极耳卷绕后外侧极耳要比内侧长，因此涂布时留白区域呈弧形，对涂布机稳定性和精确度要求更高。
	降低成本	涂布	特斯拉 4680 采用干电极法涂布，能降低占地和能耗，叠加大尺寸允许其极片更厚，所以有应用于干电极的优势；
钢壳	电池结构强度更高	CTC 一体化压铸	目前干电极相比原有的湿法电极较不成熟，目前国内大多数厂商还在观望。提高了 CTC 压铸结构强度保障；
电池尺寸更大			CTC 不可更换单个电芯，维护成本提高，且一体化压铸对材料、压铸设计以及压铸机的要求都更高。

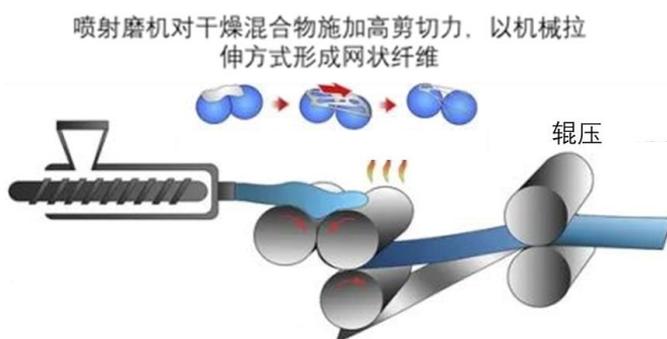
资料来源：理想生活，别克电池，Tesla，电池世界，赵子焱《动力电池技术顺势革新》，中国银河证券研究院

（二）4680 生产工艺的差异化

1. 独创干电极涂布

电池卷芯制作的第一步是制作正负极极片：将正负极导电剂、粘结剂和活性物质混合搅拌，再均匀涂覆在集流体上，形成附着了导电物质的片状材料。涂布方法分为较为传统的湿法涂布和特斯拉在 4680 电池上采用的干粉涂布技术。湿法涂布是将搅拌均匀的浆料均匀地涂覆在集流体上，并将浆料中的有机溶剂进行烘干。干法涂布是将正负极颗粒与粘结剂 PTFE 混合，使用喷射磨机对混合物施加高剪切力，以机械拉伸方式形成网状纤维薄膜层后，将其辊压到铝箔或铜箔上，制备出正负极片。

图 64：Maxwell 干电极法涂布工艺示意图



资料来源：Maxwell，理想生活，中国银河证券研究院

相比湿法涂布，干法涂布不需要溶剂，在环节方面省去了浆料搅拌、干燥、有害溶剂回收等环节，节省了材料、时间、厂房和人工等生产成本。在产品性能方面，**干法电极涂布电极更厚，能量密度更高，与 4680 电池适配度高**。首先，4680 大圆柱电池内围尺寸更大，允许卷绕在内的干法涂布更厚。其次，粘结剂 PTFE 化学性质不活泼，且弹性较大，适配 4680 的高镍和硅基负极的方案。另外，干法涂布技术是生产下一代固态电池的必要条件。

表 33: 干法涂布和湿法涂布工艺关键项对比

对比项	干法	湿法
NMP 溶剂 (有毒, 需回收处理)	不需要	需要
预锂难度	较低	高
粘合剂	少量 (约 5%-8%) PTFE 或 PVDF	较多
干燥车间	降低 30% 左右	较多
流程	无需干燥	需要干燥
生产速度	快	慢
成本	下降 20% 左右	较高
可做厚电极	是	否
能量密度	300Wh/kg 以上	180-280Wh/kg

资料来源: 力容新能源科技有限公司, 电池世界, 郭德超《锂离子电池用无溶剂干法电极的制备及其性能研究》, 中国银河证券研究院

表 34: 干法涂布和湿法涂布优缺点对比

优劣势	详细描述
更好的充放电性能	同等条件下干涂层电极比湿涂层电极拥有更大的输出功率; 循环寿命更长、高温稳定性更好、充电/放电效率更高, 为快充赋能。
能量密度更高	干电极技术电极压实密度更高, 具有显著的高负载能力;
利于负极补锂	可将极片制得较厚, 密度大、容量高, 而不会影响物理性能和电化学性能, 循环寿命长。
高镍安全性	锂或锂的化合物可以以干态形式补充进负极材料, 避免湿法环境下烟雾、火苗等意外产生。
硅基负极适配性	PTFE 的化学惰性进一步解决了无溶剂下的高镍安全性, 未来干电极技术在锂电池领域的大规模渗透将带来 PTFE 的广泛应用。
节约成本	粘合剂 PTFE 的弹性对硅基负极的膨胀问题更加友好。 去溶剂化省去浆料制备成本, 减少混料、干燥和溶剂回收环节, 显著节约设备成本和能耗; 很好地规避了传统浆料湿法过程中溶剂不稳定、且省略了有毒溶剂后续处理的问题。
缺点	要考虑将粉末固定到膜材上的技术难度; 粘结剂含氟, 会与锂反应, 造成锂损失; 材料损耗大幅增加; 干法生成过程中易起火; 技术数据及经验较少。

资料来源: 力容新能源科技有限公司, 电池世界, 郭德超《锂离子电池用无溶剂干法电极的制备及其性能研究》, 中国银河证券研究院

表 35: 4680 涂布参数与 2170 和 1865 对照

指标	单位	电池设计模型 2170	电池设计模型 1865	电池设计模型 4680	4680 对比 2170	4680 对比 1865
正极宽	mm	63.0	58.0	73.0	+15.87%	+25.86%
正极总长	mm	864.8	626.6	4319.7	+399.50%	+589.38%
正极涂布面积	mm ²	108206.62	71991.08	627314.83	+479.73%	+771.38%
负极宽	mm	65.0	60.00	75.00	+15.38%	+25.00%
负极总长度	mm	963.00	715.5	4503.4	+367.64%	+529.41%
负极涂布面积	mm ²	112421.75	75193.53	647951.53	+474.36%	+761.71%
两面涂布密度	mg/cm ²	26.13	26.13	26.13	0	0

资料来源: 理想生活, 中国银河证券研究院

当前我国涂布机市场中主要参与者包括赢合科技、嘉拓智能 (璞泰来子公司)、浩能科技 (科恒股份子公司), 其产品均可实现连续涂布, 密度精度差距在 1% 左右。其中, 赢合科技的幅面宽度最大, 可达到 1600mm; 浩能科技的涂布速度最快, 可达到 120m/min。

表 36: 各公司涂布机产品比较

指标	赢合科技	嘉拓智能	浩能科技
名称	双层挤压式涂布机	单双层宽幅高速微凹涂布机	高精度双层挤压涂布机
型号	SC1600ZZ	KTBG1200C-16	-
幅面宽度(mm)	1600	1200	1400
涂布速度(m*min)	110	100	120
单面密度精度	±1.2%	±1%	±1%
放卷卷径(mm)	1000	-	-
收卷卷径(mm)	1200	600	-
涂布方式	连续涂布	连续涂布	连续涂布/间歇涂布

资料来源: 各公司官网, 中国银河证券研究院

赢合科技 (300457.SZ) 是涂布机设备商龙头, 技术领先优势明显。其生产的涂布机极片

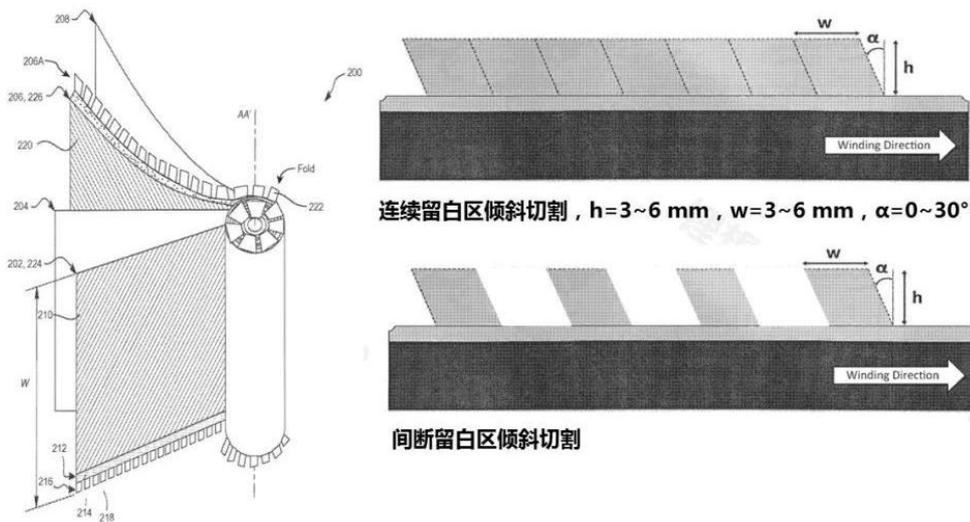
涂布面密度和涂层尺寸精度高，热能循环加热烘干系统高效环保，低导热系数隔热层保温性能优越，可以自动换料，生产过程中无停机，设备安装调试方便。公司去年新推出的市面上最大涂布宽幅尺寸 1600mm 涂布机可以适用于 4.5 μ 的基材，生产效率可以达到 120 米/分钟。中段的卷绕机在自动化程度和综合性能方面也在不断突破，得到了 LG 化学等客户的认可并保持着良好合作。公司密切关注涂布技术路线变化，开展干法涂布技术研发工作超过两年，目前正在进行技术攻关，公司研发实力强，有望率先取得技术成果。

嘉拓智能深耕锂电涂布领域 16 年，涂布机产品行业领先，获国内外主流客户青睐，也在积极布局干法电极涂布设备的开发，组建了专门团队进行此技术的研究。目前公司已开发出相关实验设备，正在进行工程化改造，期望在一到两年内形成产品。

2. 极片极耳切割一体化

传统极片切割方法采用步进运动式模切工艺，即按照电池规格，对经过辊压的电池极片进行分条的装备，生产效率低、成本较高，需要更换设备尺寸。由于全极耳设计，4680 采用了非传统的切割方式，在极片切割的过程中直接在极片一侧空箔上连续切割极耳成型。在切割技术、速度、精度以及产品质量方面，对高速制片设备提出了更高要求。

图 65：4680 电池全极耳极片设计



资料来源：理想生活，中国银河证券研究院

当把极片边缘切割成多个平行四边形的极耳单体代替长方形单体时，不仅能够减少在揉平过程中杜绝极片外翻，在与电池外壳组装时，不易刮伤电池外壳的内壁；且能够减少金属屑的产生，避免短路；同时，这种平行四边形结构能够有效减少揉平时的辊压力，从而避免活性材料的脱落，大大提高良品率。

表 37：极片分切过程中存在的问题及解决办法

问题	成因	后果	解决办法
极片切割时抖动	设备主轴精度不高，极片强度差	极片均匀性差	使用合格切割极片，检查机械孔轴间隙、螺栓等部位
切割废料不能有效排出	全极耳电池切割部位多金属碎屑多	电池容量降低、循环恶化、电阻增加、极化增加、影响浸润	重新设计排料通道
尖角烧蚀	激光移动时速度不一致、切割路径重叠	极片损坏	补加

激光切割不透	功率下降、灯管老化等	降低生产效率	更换相应设备结构
激光切割不连续	激光编制程序盲区、切割过程中更换辅助气体	极片均匀性差	仔细检查程序、更换气体时降低切割速度
切割形状不一致	精度不满足全极耳切割要求	影响导电性导致电池极化	提高设备切割精度、严格控制周期参数
极片毛刺、波浪边、掉粉	切刀磨损、装配精度变化、存在咬合间隙	刺穿隔膜导致短路引发发热失控，影响浸润性	根据极片性质厚度精细调整切刀，找到最适合的侧向压力和刀具重叠量，收放卷张力
切刀失效	疲劳失效、黏合磨损、磨粒磨损	造成极片出现毛刺等	及时检修换刀
切割效率差	切割路径长、机械传动性差	耗费时间、生产效率低	优化切割路径

资料来源：钜大锂电，浩博光电，《锂电池极片制作技术和设备研究》，中国银河证券研究院

海目星（688559.SH）是高速激光制片机设备龙头，无极耳切割技术领先。公司产品已在特斯拉 4680 电池中获得验证，是其 4680 试产线极耳切割设备唯一国内供货商。2019 年 12 月，公司中标特斯拉 1105.32 万美元的高速制片设备订单。2021 年 5 月，公司与宁德时代签订 6.7 亿元激光设备订单；8 月，中航锂电意向采购激光设备总计约 19.68 亿元。除此之外，公司激光产品还获得力神电池、蜂巢能源、比亚迪、欣旺达等电池龙头企业的青睐。

3. 激光焊接难度升级

在电池电芯制造和模组 PACK 制造过程中，焊接是非常重要的工序。电池电极、导线、外壳等包含钢、铝、铜、镍等多种材料，各种材料之间的焊接对工艺提出了很高的要求。锂电池焊接主要有超声焊接和激光焊接两种。超声焊接的优点是工艺简单，但占用空间大，模组的体积成组效率低。而激光焊接灵活、精确、高效，特别适用于锂电池制造，已成为主流工艺。

在动力电池生产中，使用激光焊接的环节主要包括：1) 中道工序：极耳焊接（包括预焊接）、电芯入壳预焊、外壳顶盖密封焊接、注液口密封焊接等；2) 后道工序：包括电池模组 Pack 的连接片焊接，以及模组盖板上的防爆阀焊接等。

图 66：4680 电芯生产中的中道焊接环节及焊接部位示意图



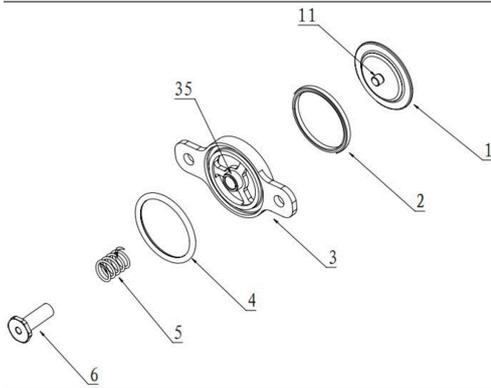
资料来源：比克电池官网，绿芯频道，中国银河证券研究院

传统圆柱电池有两个极耳，只需要进行两个极耳的点焊。**4680 大圆柱电池存在多个极耳**，正负极整体与集流盘焊接，集流盘上细丝焊缝数量较多，**焊点数量大幅增加**（4680 焊接点位较 21700 增加了 5 倍），并且一般需要使用连续激光焊接设备。

4680 电池全极耳与集流盘或壳体连接中，**激光焊接面临很多技术难题需要攻克**：1) 激光连续焊接可能造成虚焊和穿焊；2) 保证电池内部均匀性和致密性，以及集流盘的完整性；3) 金属残缺碎屑废料问题；4) 焊接时热堆积；5) 全极耳形态不受控。

在后道工序中，**防爆阀焊接对于工艺要求极为严格**。电池的防爆阀（泄压阀）是电池封口板上的薄壁阀体，当电池内部压力超过规定值时，防爆阀阀体破裂，可以有效防止电池爆裂。安全阀结构较为精细，之前都是采用脉冲激光器焊接（通过焊点与焊点的重叠覆盖来实现持续密封焊接，但焊接效率低、密封性差），**持续激光焊接可以实现高速高质量焊接**，焊接稳定性、焊接效率以及良品率都能够得到保障。

图 67：特斯拉 4680 电池 Pack 泄压阀实物图



资料来源：理想生活，中国银河证券研究院

虽然圆柱数量变少、焊接区域变大（特斯拉 4680 Pack 里的电芯数量仅约 800 个，且其焊接区域比 1865 至少大 2 倍），但相较于方形和软包电池，**4680 电池成组过程中的焊接量依然较大**。根据联赢激光官网信息，相比方形电池，大圆柱全极耳所需的面焊，其激光焊接工序从 5 道增加至 7 道，大圆柱电池的焊接设备价格也有所提升。**所需焊接设备也更多**，一般情况下，单 GWh 相较于 1865 和 2170 电池产线，需要增加 5 台焊接设备和 5 台模切机。此外，电池质量一致性问题以及报废成本仍然较大。

联赢激光（688518.SH） 是国内最早从事生产动力电池激光焊接设备的厂商之一，先后开展多系列圆柱电池激光焊接工艺及核心技术突破，并将精密激光焊接技术与自动化、智能系统结合，是少数实现激光焊接全产业链垂直整合的企业。2020 年公司发布了国内首款自主研发的高功率千瓦级蓝光激光器，实测最高输出功率高达 1.1kW，可解决高反及飞溅等传统工艺难题，在铜、金及其他高反材料的激光焊接上拥有突出优势。公司激光器自制率接近 80%，大部分激光设备已实现进口替代。

公司与宁德时代合作尤为紧密，2012 年即达成合作，为其提供动力电池激光焊接设备。公司目前与宁德时代、国轩高科、欣旺达、蜂巢能源等多家头部企业保持紧密合作。在保证国内动力电池激光焊接的龙头地位的同时，公司在 2020 年 10 月与德国时代新能源科技（图林根）签署一份销售动力电池电芯焊接系统金额约 1.61 亿元的合作。公司目前已布局 4680

焊接工艺技术，处于样机装配调试中。

图 68：联赢激光复合激光焊接密封钉焊接技术



资料来源：公司官网，中国银河证券研究院

图 69：逸飞激光圆柱动力电池汇流盘智能焊接站



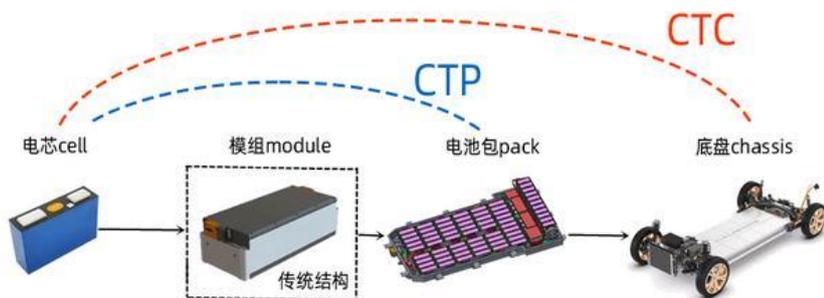
资料来源：公司官网，中国银河证券研究院

逸飞激光（A22265.SH）作为精密激光加工智能装备领域的领先企业，形成了以精密激光加工技术为核心、以智能制造装备为载体的技术和产品体系。通过多项核心技术的有效融合，公司在集流体无损成型、高速入壳、集流体激光焊接、壳盖自动化装配、壳盖封口、密封钉激光焊接等关键工序，以及高速精密传送、数字化在线检测等配套系统上，实现了一系列专业化应用技术突破。公司已经开发出圆柱全极耳电池自动装配线产品，适用于圆柱电池的大批量、智能化制造，单线效率高，兼容 4680、21700 等全系列圆柱全极耳电芯规格。

4. CTC 结合一体化压铸

CTC 是“Cell to Chassis”的缩写，直译就是“将电池放到底盘之中”，产生的背景是对单车带电量提升以及新能源汽车降本极致追求。CTC 工艺一方面降低了电池电芯以外的部件体积，另一方面充分利用了电池对车身的结构支撑作用，减少了车身零件数量和整体重量，从而节省了成本。

图 70：CTM、CTP 与 CTC 比较



资料来源：爱卡汽车，中国银河证券研究院

CTC 是电池组装工艺发展的重要方向。对下游整车厂而言，CTC 与传统车厂推崇的底盘平台化的核心逻辑是相通的，即通过强化底盘总成的集成度，来达到降本增效的目的。对中游电池厂而言，MTP 到 CTC 是一个持续提高能量密度的过程，在强度可靠的前提下逐步

减少机械件的占比，从而提高能量密度，降低单位电量的成本。另外，CTC 技术对于热管理提出了更高要求，而掌握领先技术优势的电池厂商将从中受益。

表 38: CTM、CTP 与 CTC 比较

	CTM	CTP	CTC
基本概念	电芯-模组-电池包-车身	电芯-电池包-车身	电芯-车身
空间利用率	低	高	高
集成方案	电池集成为模组，模组集成为电池包，再安装在车身上	先电池集成为电池包，电池包再安装到车身上	车身底板作为电池上盖，电池直接安装在车身上
电池电量	\	电量增加 10%-20%	电量再增加 5%-10%
空间利用率	\	车内空间无变化，电池包内空间利用率提高	底板内空间被利用，进一步增加车内、底板内空间利用率
电池是否能承载载荷	否	否	能
可维修性	可单独更换模组	只能更换电池包	需更换电池并重新密封底板

资料来源：电动势，《CTC 集成技术在电动汽车电池布置中的应用》，中国银河证券研究院

4680 电池运用 CTC 工艺具有先天优势。首先，CTC 对电池的结构强度有一定的要求，电池本身要承担相当的机械强度，相较于 1865 和 2170，4680 单体电池结构强度更高，且外壳一般采用不锈钢材质。其次，对比方壳电池，圆柱电池的布局会更灵活，能适应各种不同的底盘，再结合全极耳高能量密度高充放功率的优势，未来在 HEV 和 PHEV 领域的潜力也很大。

特斯拉拥有 CTC 电池系统专利《INTEGRATED ENERGY STORAGE SYSTEM》。特斯拉 CTC 4680 系统将电池正极朝上、从车身横向布置，侧面冷却，最后进行胶粘剂填充。系统下箱体采用蜂窝状结构，一方面起到热阻隔功能，另一方面吸收并分散来自车辆底部的撞击能量，降低电芯损坏风险。蛇形冷却管为结构胶的交叉流通提供了通道，且起到了对于电芯的限位作用，以应对惯性冲击和震动载荷。包裹在电芯四周的结构胶也有定位和约束的作用。4680 电芯的钢壳是不带电的，不需要额外增加绝缘材料。电子器件基本都集中在电芯侧面，与蛇形冷却板平行；而泄压阀布置在电池 Pack 纵向的外侧。

图 71: 特斯拉 CTC 底盘实物结构



资料来源：理想生活，中国银河证券研究院

图 72：特斯拉车身零部件-电池一体化方案实物图



资料来源：特斯拉电池日，中国银河证券研究院

CTC 工艺是由特斯拉在 2020 年率先提出，目前主机厂商方面，**特斯拉、零跑、比亚迪已经发布了应用 CTC 技术的最新车型**，并且预计年内正式上线。宁德时代明确表示将配合特斯拉开发适合 CTC 的电池产品，此外，大众、一汽大众、LG 化学及吉利、沃尔沃也有布局 CTC 的意向。

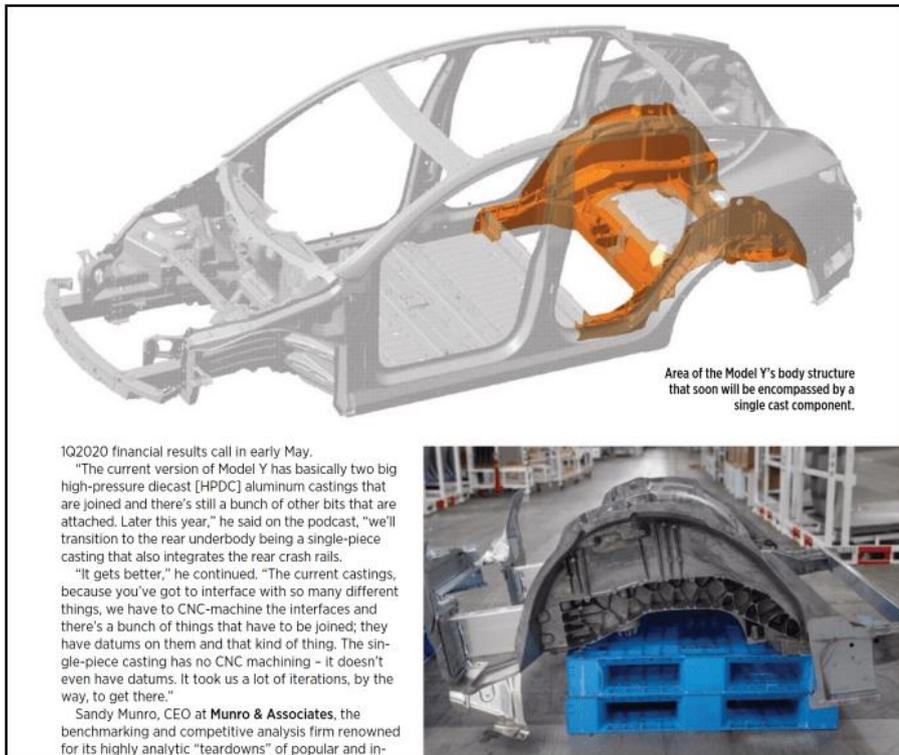
表 39：CTC 技术入局者

主机厂商	方案状态	电芯类型
特斯拉	2020 年率先提出 CTC，2022 年柏林工厂在 Model Y 车型批量应用	圆柱电芯
比亚迪	CTP，量产，汉系列车型上线； CTB，海豹系列车型上线	方形电芯
零跑	CTC，量产，车型为 C01，2022 年 5 月发布	方形电芯
一汽大众	CTC 专利布局	方形电芯，圆柱电芯（新专利）
福特汽车	CTC 专利布局	
电池企业	方案状态	电芯类型
宁德时代	CTP1.0：去掉模组的侧板，转用绑带来替代，代表车型北汽 EU5；	方形电芯、圆柱电芯
	CTP2.0：再去掉模组的两个端板，利用箱体上的纵横梁来代替端板，代表车型蔚来 75 度；	
	CTP3.0：进一步去掉箱体上的纵横梁，利用两个电芯之间的夹板和电芯本体强度，代表为麒麟电池；	
	CTC，概念阶段，专利布局，预计 2025 在基于 Model 3 的车型进行研究	

资料来源：各公司官网，新京报，爱卡汽车，中国银河证券研究院

一体化压铸是指通过大吨位压铸机，将多个单独、分散零部件高度集成，再一次成型压铸为 1-2 个大型铸件，从而替代多个零部件先冲压再焊接的传统汽车制造方式。**一体化压铸的优势明显**：1) 减轻重量：有助于轻量化的实现，根据特斯拉电池日公布数据，Model Y 后地板总成采用一体压铸后，重量降低了 30%；2) 提高效率：可以省掉大部分生产工序，采用该技术的 Model Y 后车架的制造时间从 1-2 小时缩短至不到 2 分钟；3) 降低成本：可以降低生产、土地、人工等成本，特斯拉应用一体化压铸的后地板，制造成本下降了 40%。

图 73: 特斯拉 Model Y 压铸件 (黄色部分为压铸件)



1Q2020 financial results call in early May.
"The current version of Model Y has basically two big high-pressure diecast [HPDC] aluminum castings that are joined and there's still a bunch of other bits that are attached. Later this year," he said on the podcast, "we'll transition to the rear underbody being a single-piece casting that also integrates the rear crash rails."
"It gets better," he continued. "The current castings, because you've got to interface with so many different things, we have to CNC-machine the interfaces and there's a bunch of things that have to be joined; they have datums on them and that kind of thing. The single-piece casting has no CNC machining - it doesn't even have datums. It took us a lot of iterations, by the way, to get there."
Sandy Munro, CEO at Munro & Associates, the benchmarking and competitive analysis firm renowned for its highly analytic "teardowns" of popular and in-

资料来源: 特斯拉电池日, 中国银河证券研究院

特斯拉 4680 装载车型使用 CTC 一体化压铸技术生产汽车底盘。特斯拉的开创性在于将一体化压铸的应用范围从较小的零部件拓展到了体积超大的结构件, 并且实现了规模化量产。Model Y 是其首款使用 CTC 一体压铸结构件的车型, 对后底板位置进行零件整合压铸: 溶解状态的铝水被注入到模具中, 在 6000 吨的压力下成型, 直接变成一体式 Model Y 车身后底板, 然后组装在整车上。在未来的车型中, 特斯拉会将车身地板与电池上盖合二为一, 铝合金减震将采用高压真空压铸。特斯拉的引领下, 越来越多的主机厂采用压铸一体化技术。

表 40: 部分主机厂一体化压铸方案及其进展

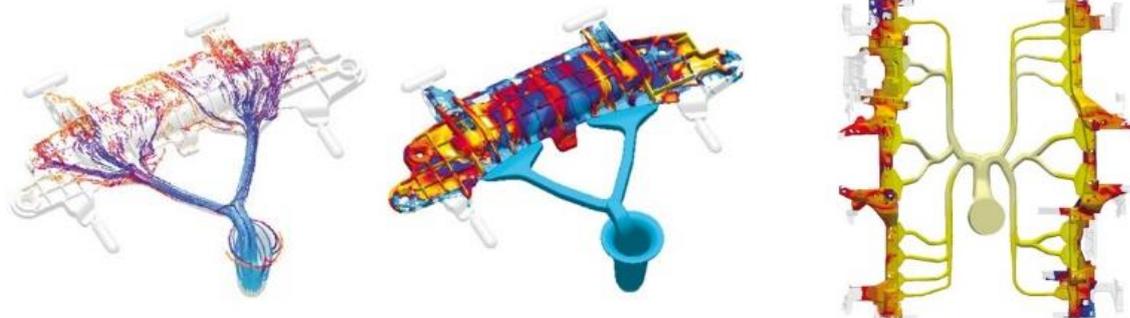
主机厂	规划车型	供应情况	进展
特斯拉	Model Y	自供	上海工厂已实现后底板批量生产, 得克萨斯州奥斯丁工厂已实现前纵梁一体化压铸
蔚来	ET5	外供	开发免热处理材料, 新 ET5 后底板将使用一体化压铸技术
小鹏	/	自供+外供	计划于武汉工厂配套 2 台大型压铸设备用于一体化电池托盘等项目
小米	/	自供	已与国内主流品牌压铸机制造商签约, 采购一台以上超大吨位压铸机, 用于一体化压铸汽车零部件生产制造
大众	Trinity	自供+外供	规划 2026 年出厂首批 Trinity
沃尔沃	下一代纯电车型	自供	导入 CTC 工艺, 新工厂采用 8000T 压铸机生产, 规划 2025 年量产

资料来源: 中国汽车工业信息网, 中国银河证券研究院

一体化压铸虽然在高压铸造形式上较为简单, 但其工艺设计极为复杂, 压铸件增大后, 工艺难度呈指数型增长。难点主要体现在以下几个方面: 1) **冲型问题**。流动通道越复杂, 边角结构越多, 造成紊流, 导致在冲型过程中无法良好填充, 会导致内部严重的缺陷, 还包括有杂质和氧化皮的风险; 2) **排气问题**。通过改良压铸设备设计 (真空技术和使用惰性气体) 可减少浇筑气体, 但成本较高; 3) **热胀冷缩问题**。大零件的冷缩过程可能导致没有足够的

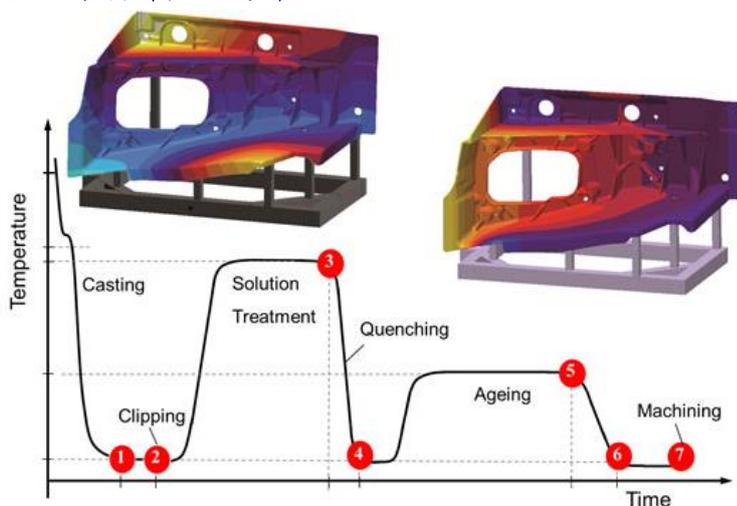
液态金属缩补而产生缺陷，另外要防止热孤岛问题；4) **尺寸问题**。冷却后有形变，形变量很难预测和控制。所以，一体化压铸使用的材料需要具备高强高韧、热固性质和均匀性良好的特性，目前铝合金材料是首选。

图 74：高压铸金属的紊流分析



资料来源：MAGMASOFT 官网，中国银河证券研究院

图 75：压铸过程中热处理分析



资料来源：MAGMASOFT 官网，中国银河证券研究院

除此之外，一体化压铸还面临诸多挑战：1) **前期投入及定制化问题**。在工厂里布置大吨位压铸机，需要重新规划产线。由于是一体成型，导致通用性较差，只能应用于特定车型。如果对应的车型销量不佳，配套设备的高昂成本就无法分摊；2) **综合成本问题**。除了压铸机，还有压铸模具、熔炼炉、喷涂设备、拾取设备、冷却设备、修边机、输送带、油温机、高真空设备等。这些周边设备和压铸机组成一个压铸岛，维持整个压铸岛运转的成本较高；3) **后期维修问题**。一体成型的车架一旦遭遇碰撞后很难维修，可能直接报废。

压铸机是一体化压铸制造过程中最重要的生产设备。特斯拉使用的巨型压铸机长 19.5 米、高 5.3 米、重达 410 吨，合模力达 6000 吨，用于压铸特斯拉 model Y 组件。该设备来自 IDRA 公司，其为全球有色金属压铸机历史最悠久的制造商之一，是中国力劲集团的全资子公司。

图 76: 特斯拉弗里蒙特工厂 Giga Press



资料来源: 特斯拉官网, 中国银河证券研究院

一体化压铸业务涉及压铸件供应及上游压铸机供应。压铸件方面, 目前我国汽车行业的铝压铸企业均在加快布局一体化压铸, 主要铝压铸厂商包括文灿股份 (603348.SH)、广东鸿图 (002101.SZ)、拓普集团 (601689.SH)、泉峰汽车 (603982.SH)、旭升股份 (603305.SH) 等。而大吨位压铸机是一体化压铸的必要条件, 大吨位压铸机主流供应商主要有力劲科技 (0558.HK)、海天集团和伊之密 (300415.SZ) 等。

表 41: 压铸件供应商和压铸机供应商梳理

压铸件供应商	进展
文灿股份	全球第一家在大型一体化车身结构件产品领域获得客户量产项目定点并且完成试模的企业。公司拥有超大吨位压铸机 7 台, 6000-7000T 压铸机 4 台, 9000T 压铸机 3 台。一体化部件量产进展领先, 2021 年 11 月完成 6000 半片式后地板试制, 9000T 一体化压铸也已完成。公司为特斯拉供应压铸副车架等相关产品。目前有 5-6 家客户与公司沟通大型一体化车身结构件产品的研发, 预计在 2023 年-2025 年开始量产。公司客户包括采埃孚天合、威伯科、法雷奥、格特拉克、博世、加特可等一级汽车零部件供应商, 以及通用汽车、奔驰、长城汽车、大众、特斯拉、吉利、上海蔚来等整车厂商。
旭升股份	公司已积累 4400T 压铸机的使用经验、大吨位模具的设计与制造能力, 并积极与主机厂进行沟通交流。随着向海天集团购入大吨位压铸机 (8000T 及以上) 到位和方案的落地, 将快速推动公司一体化压铸的进展。主要客户有宝马、奔驰、博世、长城汽车、宁德时代、蔚来等。
拓普集团	公司与压铸机供应商力劲科技就大型汽车结构件一体化成型项目达成深度合作, 向力劲订购了 21 台套压铸单元, 其中包括 6 台 7200 吨压铸设备。2022 年 2 月, 公司 7200T 一体化超大压铸后舱下线, 公司成为了国内首个量产超大型一体化铝合金结构件制造技术的汽车零部件供应商, 主要客户有宝马、奔驰、博世、长城汽车、宁德时代、蔚来等。
泉峰汽车	公司马鞍山基地一期计划 2022 年逐步投产, 配置的大型压铸设备有 2700T 两台, 3000T/4200T/4400T/6000T/8000T 大型压铸设备各一台。主要客户有博泽、三菱、蔚来、博世、法雷奥、蒂森、克虏伯等。
广东鸿图	华南地区规模最大的精密铝合金压铸件专业生产企业。6800T 底盘一体化结构件产品已下线, 与力劲科技的子公司达成协议, 购买八台大型超级压铸机(包括 12000T), 并将与力劲科技, LK Technology 等合作研发 12000T 压铸机, 是特斯拉 GIGA PRESS 的两倍。未来公司将结合客户的发展方向在一体化前舱总成、一体化后地板总成和一体化电池托盘等关键核心轻量化部件方面布局 and 发力, 目前正积极与相关客户在一体化压铸产品同步开发方面进行接洽。2022 年 6 月公司公告获得小鹏某车型底盘一体化结构件产品的供应商定点, 长期客户有菲亚特-克莱斯勒、沃尔沃、日产、本田、丰田、吉利、广汽等。
压铸机供应商	进展
力劲科技	力劲集团子公司, 力劲科技是全球最大的压铸机制造商, 压铸机型号齐全。2021 年 4 月, 9000T 压铸机 Dream press 实现向汽车零部件龙头企业瑞立集团发货。2021 年 5 月, 文灿股份向力劲科技采购了 7 套 IDRA(力劲集团子公司)X-PRESS 系列大型智能压铸单元, 分别为两套 6000 吨、三套 4500 吨、一套 3500 吨、一套 2800 吨。2021 年 9 月, 拓普集团向力劲科技订购 21 台套压铸单元, 其中包括 6 台 7200 吨、10 台 4500 吨和 5 台 2000 吨的压铸设备。2022 年 2 月, 特斯拉从力劲采购了 13 台 6000T 压铸机, 将用于上海、弗里蒙特和柏林等工厂。此前特斯拉上海工厂有 4 台 6000T 力劲压铸机。

海天集团

有 70 余家子公司，业务涉及注塑机、数控机床、压铸机等，实力雄厚。2019 年，公司 4500T 压铸机已成功交付使用。公司已成功研发超大型压铸机。美利信引进了海天金属的 8800T 压铸机和 6600T 和 2 套 8800T 超大型压铸机，在未来三年内再增加约 10 台 6600T 和 8800T 超大型压铸机，还将共同开展 12000T 和 15000T 超大型压铸机项目的技术研发与合作。

伊之密

公司压铸机市场份额仅次于力劲科技，毛利率高于力劲科技（除 2020 年）。2014 年公司完成 H 系列高性能镁铝合金压铸机的开发工作，2015 年将该产品重点推出市场，并在 2016 年全面推广。2021 年 7 月，全新 LEAP 压铸机系列进入市场。公司高度重视重型压铸机的技术和产品研发，对相关产品研发在有序开展中。

资料来源：各公司官网，有色资讯网，铸造头条，新京报，爱卡汽车，中国银河证券研究院

四、推荐标的

(一) 亿纬锂能

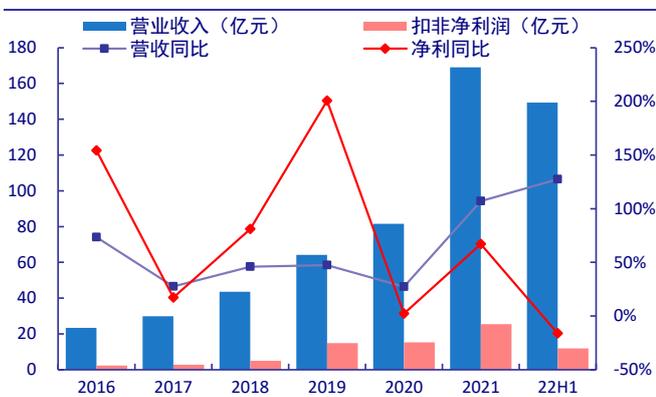
消费电池业务多点开花。多重因素推动消费电池高速增长：1) 电子烟领域，公司为国内外知名电子雾化器企业提供小型软包电池，参股电子雾化设备龙头思摩尔国际。2021 年政府强化了对电子烟市场的管控，小企业或将逐步出清，有利于公司发挥头部企业优势；2) TWS 耳机市场正高速增长，公司研发的豆式电池体积小，能量密度高；3) 电动工具无绳化趋势明显，公司在制造和规模上均有优势；4) 物联网设备数量快速增加。

动力电池业务盈利改善。公司今年动力电池放量较快，主要客户有小鹏、东风、广汽、现代起亚及戴姆勒、宝马、捷豹路虎、博世等国内外头部车企。公司动力电池市场份额由 2021 年的 1.6% 提升至 2022 年 7 月的 2%。随着哪吒和广汽销量快速增长，动力电池有望快速放量。今年一季度公司与客户达成了成本加成的价格联动机制，盈利能力在持续改善中。
战略性率先布局储能市场。公司已经与国内主要电信运营商、通讯设施龙头、多地电网公司在通信储能或电网侧配套等领域开展业务合作，并在家庭储能、工商业储能细分领域积累了一批国内外知名品牌客户。目前，公司是储能市场最主要的参与者之一。

4680 电池年底试产。公司在 2018 年获得戴姆勒九年长单，2020 年拿下宝马方形电池订单，而宝马和戴姆勒均有应用 4680 趋势。2021 年公司宣布与 StoreDot 联合开发 4680 和 4695 两大圆柱电池路线。StoreDot 为以色列一家专注于快充的初创公司，对硅负极有独到理解，被戴姆勒 6,000 万美金投资。公司在荆门规划 20GW 在建产能，预计 2022 年四季度建成试产，2023 年下半年实现出货，2024 年产能将达到 40GWh。

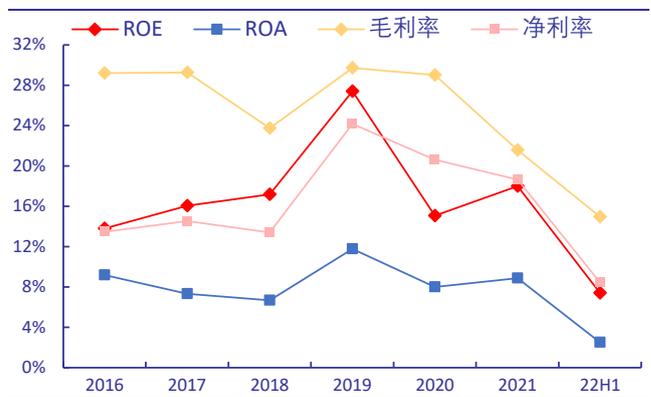
多方位布局保障供应链安全。公司获得大柴旦盐湖（储备 29 万吨氯化锂资源）37.4% 面积的采矿权，将与金昆仑投资建设远期 3 万吨碳酸锂和氢氧化锂项目。公司分别与川能动力、紫金矿业等设立锂盐合资厂，锁定 2024 年以后每年 91GWh 产能供应。子公司亿纬亚洲与永瑞控股、华友钴业等联合在印尼建设红土镍矿湿法冶炼项目。另外，在电池材料方面，亿纬亚洲与贝瑞特、SKI 设立合资公司投建约 5 万吨高镍三元正极材料项目；与德方纳米成立合资公司，计划建设 10 万吨磷酸铁锂项目；与新宙邦成立合资公司，布局电解液供应。

图 77：亿纬锂能营收利润及增速



资料来源：wind，中国银河证券研究院

图 78：亿纬锂能盈利能力



资料来源：wind，中国银河证券研究院

(二) 当升科技

产品定位高端。公司是国内锂电正极材料的龙头企业，主要从事钴酸锂、多元材料及锰酸锂等小型锂电、动力锂电正极材料的研发、生产和销售。公司集自主创新、成果转化、产业运营于一体。公司在今年 7 月召开的新品全球发布会上重磅公布了六款产品。其中，双相复合固态锂电正极材料、固态电解质解决了正极与电解质固固界面难题；新型富锂锰基产品开发进展顺利；新一代钠电正极材料已向国内主流电池生产商送样，客户给予高度评价，产品性能指标优于市场同类产品。

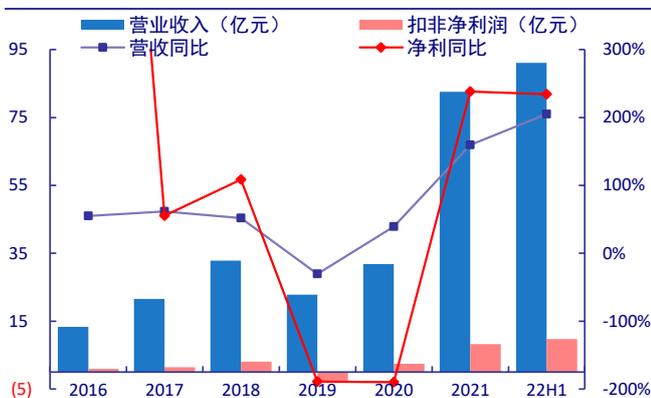
高镍产品匹配 4680 圆柱。公司目前主推的 NCM、8 系、9 系产品均已实现批量销售，主要面向海外市场，部分运用在 4680 圆柱电池上。公司高镍产品出货量大幅增长，占比不断提升。年报显示，公司 Ni95 产品已完成国际客户验证，超高镍产品 Ni98 正在开展客户认证工作。高镍及超高镍产品广泛应用于欧美客户的各类动力电池，为特斯拉、宝马、大众、日产、三菱等一批海外高端车企提供配套。

拥有多项自主知识产权。公司研发投入大，高投入助力专利成果。公司开发了具有自主知识产权的多元球形前驱体共沉淀技术、正极材料均匀锂化与结晶技术、多元掺杂协同改性技术、掺杂-包覆改性一步合成技术、微粉级颗粒表（界）面多层次协同修饰技术、前驱体废水梯次利用与综合回收再利用技术等 40 多项关键技术。

客户开拓出色，海外基因深远。公司目前是全球唯一一家同时向中、日、韩、欧美高端锂电客户提供高品质锂电正极材料的供应商。全球前十大锂电巨头均是公司客户。公司与核心客户三星 SDI、LG 化学、SKI 等的合作持续深入，动力方面的出货逐渐放量，海外业务占比不断提升。22H1 公司锂电材料实现销售收入 31.39 亿元，占锂电锂电材料总收入的 45%。公司海外客户的渗透率远高于其他正极材料企业。随着海外新能源车销量的爆发成为全球主力市场，未来公司海外业务收入的占比有望持续提升，带来超预期的业绩增量。

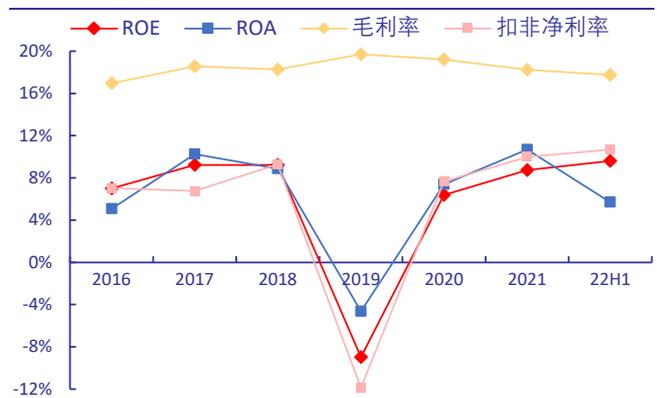
产能利用率高，盈利能力强。公司产能利用率连续多年行业领先，均达到 94% 以上。公司 2021 年利用率约 110%（通过技改和外协实现），远高于可比公司。产能利用率高有利于公司摊薄折旧、人工等刚性成本，维持单吨毛利水平。在全行业受到疫情影响的情况下，公司 2021 年锂电材料的单吨毛利润达到约 3 万元/吨，处于行业领先水平。

图 79：当升科技营收利润及增速



资料来源：wind，中国银河证券研究院

图 80：当升科技盈利能力



资料来源：wind，中国银河证券研究院

(三) 贝特瑞

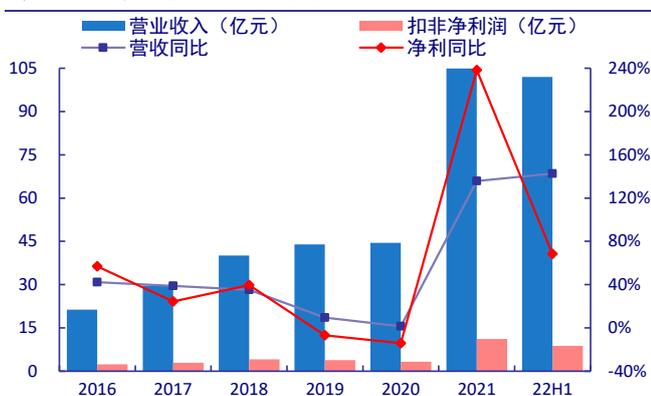
天然石墨龙头。公司深耕负极领域 20 多年。2013 年以来，公司负极材料出货量连续 7 年位列全球第一。22H1 公司负极材料销量超过 14 万吨，实现销售收入 63.6 亿元，同比增长 166%，根据鑫椽资讯统计，中国市场占有率为 26%。公司在天然石墨领域具备绝对领先优势，深度绑定松下、LG、三星等海外电池企业。公司加快人造石墨布局，2021 年人造石墨市占率达到 14%，国内排名第三（江西紫宸 20%，杉杉股份 17%）。2022 年 5 月，云南大理 20 万吨负极材料一体化基地项目开工，一期建设 5 万吨石墨化及 10 万吨负极成品产能，预计于 2023 年 7 月开始投产。印尼“年产 8 万吨新能源锂电池负极材料一体化项目”正在推进中。此外，公司还在通过合资或自建的方式，不断提升石墨化自给率。

硅基负极先行者，4680 电池技术及超高镍技术进步带来增量。作为国内最早量产硅基负极的企业之一，公司硅基负极配合三星、松下较早实现量产，目前已实现第三代产品迭代。比容量从第一代的 650mAh/g 提升至第三代的 1500mAh/g。公司正在开发更高容量的第四代硅碳负极材料产品。产能方面，公司现有 3000 吨硅基负极产能，新扩产 2000 吨/年，预计今年下半年投产，未来将继续扩产 4.5 万吨硅基负极产品。“高镍+高硅”是最适合 4680 电池方案，公司在布局硅基和高镍方面全面领先，预计将率先从中受益。

正极聚焦高镍三元，打造第二增长极。公司完成磷酸铁锂资产及业务转让，坚定聚焦 NCA、NCM811 为代表的高镍三元正极。公司正极业务增长势头良好。22H1 正极材料销量超过 1.2 万吨，实现营业收入 35.3 亿元，同比增长 123%，占总收入的比例达到约 35%。根据鑫椽资讯统计，22H1 国内高镍三元材料产量为 11.41 万吨，公司市占率为 12%。公司现有高镍正极材料产能为 3.3 万吨，与 SKI、亿纬锂能合资 5 万吨三元产线正在建设中（公司持股 51%）。产品配套 SKI、松下等大客户，出货确定性高，高镍业务进入收获期。

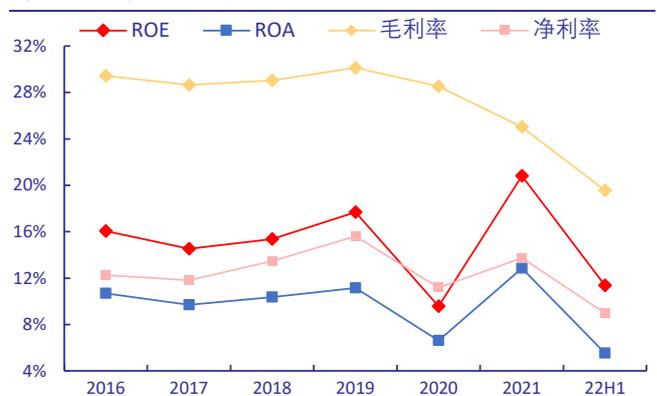
研发水平位居行业前列。2017 年以来公司研发费用持续增长，累计已达 19.07 亿元，22H1 为 5.14 亿元，同比增长 113%。公司组建了院士、博士后工作站、广州海关化验中心合作实验室，获得了国家企业技术中心等认证，形成了行业领先的自主创新能力。同时，公司也在积极布局前沿技术，包括钠离子电池材料、全固态电解质、锂金属负极、燃料电池材料、石墨烯高导热材料及电池材料回收技术等，寻求在产品及技术开发上的不断突破。

图 81：贝特瑞营收利润及增速



资料来源：wind，中国银河证券研究院

图 82：贝特瑞盈利能力



资料来源：wind，中国银河证券研究院

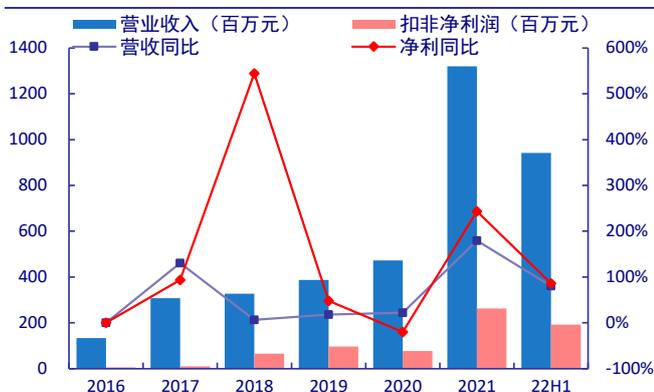
(四) 天奈科技

碳纳米管龙头，单壁碳纳米管量产在即。公司是一家生产销售碳纳米管粉体以及导电浆料的高新技术企业，2021 年市占率高达 43.4%。自 2007 年成立以来，在获得清华大学专利授权的基础上，一直专注于 CNT 碳纳米管在电池材料中的研发和应用。碳纳米管的结构特性决定，相较导电炭黑和石墨烯等材料，具有更加优异的导电性，有助于提高电池的倍率性能和循环寿命。公司拥有多壁碳纳米管、单壁纳米碳管制备的国际专利，是全球一系列碳纳米管材料标准的制定者。公司掌握的纳米聚团流化床宏量制备碳纳米管技术解决了碳纳米管无法连续化宏量制备生成的难题。公司也是最早成功将碳纳米管通过浆料形式导入锂电池的企业之一，推动了碳纳米管在锂电池领域的广泛应用。同时，公司掌握的碳纳米管催化剂制备技术，对未来产品的升级以及顺利投产和量产打下了坚实的基础。2022 年 7 月，公司拟新建产能 450 吨，生产更加适配 4680 电池硅基负极的单壁碳纳米管粉体，其中一期项目 150 吨最早将于 2024 年建成投产。

技术储备深厚，产销快速增长。公司覆盖了粉体制造和浆料制造两个环节，通过催化热解法自主生产 CNT 分体，并且攻克了粉体分散的技术难题，成为了掌握 CNT 浆料全链条核心技术的公司，其中 CNT 制备催化剂体系的自主研发又成为公司灵活开发各种不同结构 CNT 的前提，实现了公司三代产品的开发。通过大量研发分散技术，制备 CNT 浆料提供给锂电池厂，实现了 CNT 材料性能的有效利用。根据公司公告，22H1 公司实现 CNT 浆料销售额达 9.52 亿元，同比增长 83.4%，公司拟建 CNT 导电浆料项目超过 11000 吨，单壁碳纳米管项目 450 吨，有望在 4680 电池中实现添加。以上项目将有效保障公司面对下游需求的供应能力。

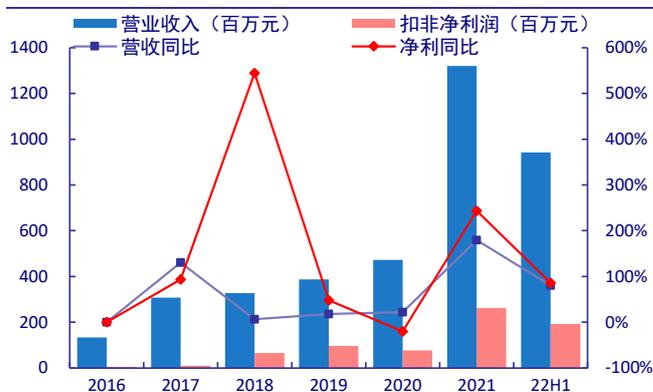
集中服务优质客户，海外市场有望放量。公司客户涵盖 CATL、ATL 比亚迪、中航锂电、孚能科技、欣旺达等国内一流锂电池生产企业。2019 年以来，公司前五大客户销售金额占当期收入的比例约 60%左右，集中度相对较高。在海外市场方面，目前公司已经和日韩知名动力锂电池企业共同开发碳纳米管导电浆料在硅基负极中的应用，并且测试情况良好，预计未来将实现大批量供货。在海外市场逐步打开，销售有望放量的情况下，未来公司营收增速预计将会继续提高。

图 83：天奈科技营收利润及增速



资料来源：wind，中国银河证券研究院

图 84：天奈科技盈利能力



资料来源：wind，中国银河证券研究院

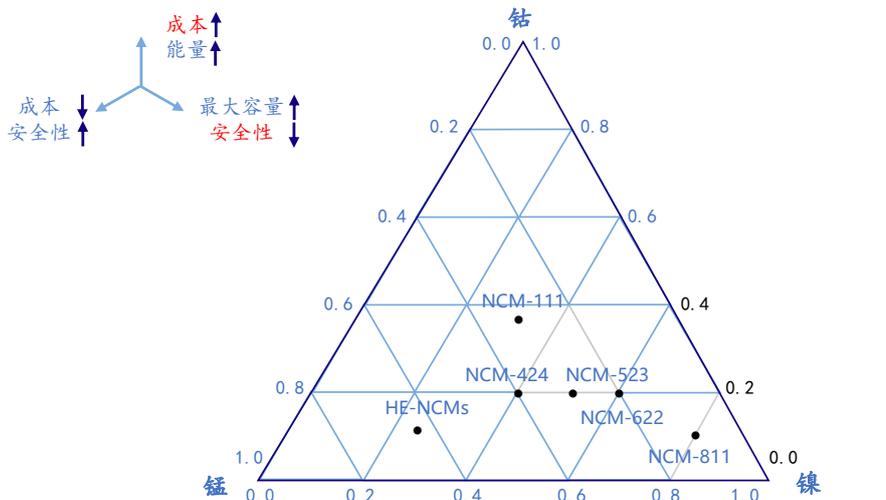
五、风险提示

- 1、4680 大圆柱电池技术突破进展不达预期的风险；
- 2、4680 大圆柱电池相关产能扩产不达预期的风险；
- 3、采用 4680 电池的电动车销量不及预期的风险；
- 4、资源品或零部件短缺导致原材料价格暴涨、企业经营困难的风险；
- 5、竞争加剧导致产品价格持续下行的风险；
- 6、新冠等疫情加剧的风险；
- 7、海外政局动荡、海外贸易环境恶化带来的政策风险。

六、附录

各元素作用不一，配比是关键。镍用于提高材料的能量密度，但镍含量过高会发生锂镍混排（ Ni^{2+} 与 Li^+ 的半径接近， Ni^{2+} 很容易占据 Li^+ 的位点），导致锂的析出，而直接影响材料的首次效率和循环寿命。同时，随着镍含量提高，三元材料的热分解温度降低，热稳定性变差，电池发生爆炸的风险提高；钴可以稳定材料的层状结构，降低锂镍混排的负面影响，降低阻抗值，提高电导率、循环性能和倍率性能，但钴价昂贵；锰或铝作为基础金属，用于降低成本，提高安全性和结构稳定性，但含量过多会破坏层状结构，降低电池的比容量。

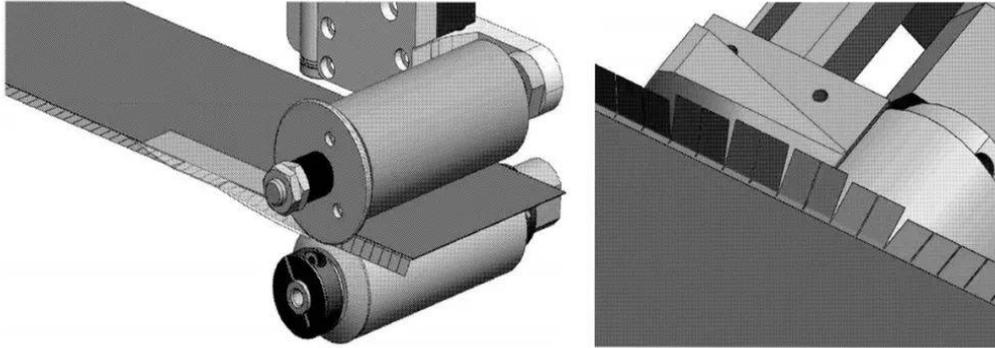
图 85：镍钴锰配比与电池性能关系



资料来源：Web of Science，中国银河证券研究院

集流体边缘弯折工艺：预折弯再卷绕。在卷绕工艺过程中，对留白区先预弯折，然后卷绕成卷芯，最后卷芯边缘进一步弯折到位。

图 86：集流体边缘弯折工艺



资料来源：理想生活，中国银河证券研究院

插图目录

图 1: 特斯拉 4680 锂电池	2
图 2: 近年新能源汽车补贴政策标准 (万元)	2
图 3: 锂离子电池组的能量密度及成本	3
图 4: 不同封装类型的电池占比变化	4
图 5: 特斯拉 4680 降本方案	4
图 6: 1865/2170/4680 电池实物图	5
图 7: 工厂层面从电极涂覆、卷绕、装配、化成提高效率	6
图 8: 湿法涂覆工艺	6
图 9: Maxwell 干电极工艺	7
图 10: Model 3 中 2170 的四模组装配	8
图 11: 特斯拉 CTC 无模组装配	8
图 12: 方形、圆柱、软包电池大小排列示意图	9
图 13: 方形电池底部液冷方案	9
图 14: 软包电池底部液冷方案	9
图 15: 圆柱电池侧面液冷方案	10
图 16: 圆柱电池顶部+侧面液冷方案	10
图 17: 单极耳与全极耳原理示意图与结构示意图	10
图 18: 单极耳与全极耳温度分布对比	11
图 19: 大圆柱电池卷芯结构	11
图 20: 大圆柱电池的结构-无极耳	11
图 21: 800V 快充技术布局情况	12
图 22: 电池充电工作原理	13
图 23: 宁德时代快充技术	14
图 24: 广汽埃安快充技术	14
图 25: 亿纬锂能 46XX 电池	16
图 26: 松下 4680 电池	16
图 27: NCMA 与 NCM 和 NCA 循环稳定性对比	19
图 28: 2021 年我国 8 系及以上正极材料厂商出货占比	21
图 29: NCA 三元正极前驱体的工艺流程图	22
图 30: 正极材料生产流程示意图	22
图 31: 正极材料生产工艺	23
图 32: 高速混合机	23
图 33: 球磨机	23
图 34: 三元正极匣钵	24
图 35: 辊道窑	24
图 36: 推板窑	24
图 37: 地壳中的硅元素含量占比	25
图 38: 22Q2 石墨类负极及硅基负极单价对比	25
图 39: 锂枝晶在电池工作时析出的过程	25

图 40: 中国硅基负极材料出货量及增长情况	26
图 41: 中国硅基负极在负极渗透率	26
图 42: 硅基负极发展时间线	26
图 43: 硅碳负极进展情况	26
图 44: 硅基负极的关键技术问题与解决方案	27
图 45: 硅负极工作时体积膨胀情况	28
图 46: 石墨负极工作时体积膨胀情况	28
图 47: 硅碳负极和硅氧负极制作过程	28
图 48: 硅纳米化	30
图 49: 锂电池的首效问题	31
图 50: 负极补锂示意图	32
图 51: 正极补锂示意图	32
图 52: 碳纳米管在电极材料中形成导电导热网络示意图	35
图 53: 碳纳米管在电极材料中形成导电网络实际图像	35
图 54: 碳纳米管使硅负极在涨缩后免于破碎分离	35
图 55: 单壁碳纳米管与双臂碳纳米管结构图	36
图 56: 单壁碳纳米管在多次循环中容量损失更少	37
图 57: 电解液制作方法	38
图 58: 氯化亚砷-氯磺酸法制备 LiFSI 工艺流程	39
图 59: 传统铜箔生产工艺	41
图 60: 复合铜箔与传统铜箔生产流程对比	41
图 61: 特斯拉 4680 第一代电池结构	44
图 62: 比克 4680 电池结构	44
图 63: 4680 大圆柱电池生产流程	44
图 64: Maxwell 干电极法涂布工艺示意图	45
图 65: 4680 电池全极耳极片设计	47
图 66: 4680 电芯生产中的中道焊接环节及焊接部位示意图	48
图 67: 特斯拉 4680 电池 Pack 泄压阀实物图	49
图 68: 联赢激光复合激光焊接密封钉焊接技术	50
图 69: 逸飞激光圆柱动力电池汇流盘智能焊接站	50
图 70: CTM、CTP 与 CTC 比较	50
图 71: 特斯拉 CTC 底盘实物结构	51
图 72: 特斯拉车身零部件-电池一体化方案实物图	52
图 73: 特斯拉 Model Y 压铸件 (黄色部分为压铸件)	53
图 74: 高压铸金属的紊流分析	54
图 75: 压铸过程中热处理分析	54
图 76: 特斯拉弗里蒙特工厂 Giga Press	55
图 77: 亿纬锂能营收利润及增速	57
图 78: 亿纬锂能盈利能力	57
图 79: 当升科技营收利润及增速	58
图 80: 当升科技盈利能力	58

图 81: 贝特瑞营收利润及增速	59
图 82: 贝特瑞盈利能力	59
图 83: 天奈科技营收利润及增速	60
图 84: 天奈科技盈利能力	60
图 85: 镍钴锰配比与电池性能关系	61
图 86: 集流体边缘弯折工艺	62

表 格 目 录

表 1: 不同封装方式电芯性对比	3
表 2: 2170/4680 电池性能对比	5
表 3: 影响不同封装电池组热失控的核心因素对比	8
表 4: 快充功率及时间	12
表 5: 快充电池技术进展	13
表 6: 国内方形电池装机量占比	15
表 7: 国内软包电池装机量占比	15
表 8: 国内圆柱电池装机量占比	15
表 9: 各电池厂商的 4680 规划	16
表 10: 特斯拉 4680 装机测算	18
表 11: 各企业 4680 正极技术路线梳理	20
表 12: 各电池企业正极材料与前驱体供应商梳理	21
表 13: 不同三元正极匣钵成本测算	24
表 14: 石墨与硅单质性能对比	25
表 15: 硅负极体积膨胀带来的问题	28
表 16: 硅碳负极和硅氧负极对比	29
表 17: 各企业硅碳/硅氧负极产品性能对比	29
表 18: 硅基复合负极材料的复合结构	30
表 19: 常见硅碳负极制备方法	30
表 20: 国内厂商的补锂剂进展	32
表 21: 布局硅负极的重点公司梳理	33
表 22: 4680 电池材料用量变化	34
表 23: TUBALL 单壁碳纳米管在电池正负极应用的效果	36
表 24: 天奈科技产品发展	37
表 25: 新型锂盐 LiFSI 与六氟磷酸锂 LiPF ₆ 的性能对比	38
表 26: 龙头企业布局新型锂盐 LiFSI 情况	39
表 27: 传统铜箔和 PET 铜箔性能对比	40
表 28: 传统铜箔与复合铜箔生产工艺对比	41
表 29: PET 复合铜箔产业链上市公司梳理	42
表 30: 重点公司工艺比较和技术进展	43
表 31: 特斯拉及比克电池主要结构对比	44
表 32: 4680 新技术方案带来的工艺变革	45

表 33: 干法涂布和湿法涂布工艺关键项对比	46
表 34: 干法涂布和湿法涂布优缺点对比	46
表 35: 4680 涂布参数与 2170 和 1865 对照	46
表 36: 各公司涂布机产品比较	46
表 37: 极片分切过程中存在的问题及解决办法	47
表 38: CTM、CTP 与 CTC 比较	51
表 39: CTC 技术入局者	52
表 40: 部分主机厂一体化压铸方案及其进展	53
表 41: 压铸件供应商和压铸机供应商梳理	55

分析师承诺及简介

本人承诺，以勤勉的执业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告的具体推荐或观点直接或间接相关。

周然，工商管理学硕士。2010年11月加盟银河证券研究部，先后从事公用事业、环保、电力设备及新能源行业分析师工作，目前担任电新团队负责人和大能源组组长。2020年、2019年获金融界量化评选最佳分析师第2名；2019年、2016年新财富最佳分析师第9名；2014年卖方分析师水晶球奖第4名；2013年团队获新财富第5名，水晶球奖第5名；2012年新财富第6名。逻辑分析能力强；对行业景气度及产业链变化理解深入，精准把握周期拐点；拥有成熟的自上而下研究框架；以独特视角甄选成长标的。曾任职于美国汇讯（Christensen）的亚利桑纳州总部及北京分部，从事金融咨询（IR）和市场营销的客户主任工作。

评级标准

行业评级体系

未来6-12个月，行业指数(或分析师团队所覆盖公司组成的行业指数)相对于基准指数(交易所指数或市场中主要的指数)

推荐：行业指数超越基准指数平均回报20%及以上。

谨慎推荐：行业指数超越基准指数平均回报。

中性：行业指数与基准指数平均回报相当。

回避：行业指数低于基准指数平均回报10%及以上。

公司评级体系

推荐：指未来6-12个月，公司股价超越分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报20%及以上。

谨慎推荐：指未来6-12个月，公司股价超越分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报10%—20%。

中性：指未来6-12个月，公司股价与分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报相当。

回避：指未来6-12个月，公司股价低于分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报10%及以上。

免责声明

本报告由中国银河证券股份有限公司（以下简称银河证券）向其客户提供。银河证券无需因接收人收到本报告而视其为客户。若您并非银河证券客户中的专业投资者，为保证服务质量、控制投资风险、应首先联系银河证券机构销售部门或客户经理，完成投资者适当性匹配，并充分了解该项服务的性质、特点、使用的注意事项以及若不当使用可能带来的风险或损失。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用，并不构成对客户的投资咨询建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告而取代自我独立判断。银河证券认为本报告资料来源是可靠的，所载内容及观点客观公正，但不担保其准确性或完整性。本报告所载内容反映的是银河证券在最初发表本报告日期当日的判断，银河证券可发出其它与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但银河证券没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知客户。银河证券不对因客户使用本报告而导致的损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的银河证券网站以外的地址或超级链接，银河证券不对其内容负责。链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

银河证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。银河证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

银河证券已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。除非另有说明，所有本报告的版权属于银河证券。未经银河证券书面授权许可，任何机构或个人不得以任何形式转发、转载、翻版或传播本报告。特提醒公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告。

本报告版权归银河证券所有并保留最终解释权。

联系

中国银河证券股份有限公司 研究院

深圳市福田区金田路3088号中洲大厦20层

上海浦东新区富城路99号震旦大厦31层

北京市丰台区西营街8号院1号楼青海金融大厦15层

公司网址：www.chinastock.com.cn

机构请致电：

深广地区：苏一耘 0755-83479312 suyiyun_yj@chinastock.com.cn

崔香兰 0755-83471963 cuixianglan@chinastock.com.cn

上海地区：何婷婷 021-20252612 hetingting@chinastock.com.cn

陆韵如 021-60387901 luyunru_yj@chinastock.com.cn

北京地区：唐媛玲 010-80927722 tangmanling_bj@chinastock.com.cn